

ПСИХОЛОГИЯ

СОВРЕМЕННАЯ ЗАРУБЕЖНАЯ

Journal of Modern Foreign Psychology



2020. Том 9 . № 2
2020. Vol. 9 , no. 2

СОВРЕМЕННАЯ ЗАРУБЕЖНАЯ ПСИХОЛОГИЯ
Том 9, № 2 / 2020

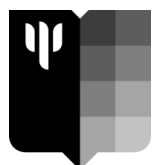
Тема номера
Нейробиология когнитивных процессов

Тематический редактор
Б.В. Чернышев

JOURNAL OF MODERN FOREIGN PSYCHOLOGY

Московский государственный психолого-педагогический университет

Moscow State University of Psychology & Education



«СОВРЕМЕННАЯ ЗАРУБЕЖНАЯ ПСИХОЛОГИЯ»

Главный редактор

Т.В. Ермолова

Ответственный секретарь

В.В. Пономарева

Технический редактор

О.Н. Борисова

Редакционная коллегия

Ю.И. Александров, Т.В. Ахутина, Е.Л. Григоренко, О.В. Рубцова, Т.А. Баилова, И.А. Бурлакова, Т.М. Марютина, Е.А. Сергиенко, А.Б. Холмогорова, Е.Г. Дозорцева, Л.Ф. Обухова, Н.Г. Салмина, М.А. Сафронова, Е.О. Смирнова, Т.А. Строганова, Н.Н. Толстых, Е.В. Филиппова, В.С. Юркевич

Редакционный совет

Председатель

В.В. Рубцов

Заместитель председателя редакционного совета

А.А. Марголис

Члены редакционного совета

Г. Дэниэлс (Великобритания), П. Хаккарайнен (Финляндия)

Корректор Р.К. Лопина

Компьютерная верстка: М.А. Баскакова

УЧРЕДИТЕЛЬ

Московский государственный психолого-педагогический университет

Все права защищены.

Перепечатка материалов журнала и использование иллюстраций
возможны только с письменного разрешения редакции.

Позиция редакции может не совпадать с мнением авторов публикаций.

СОДЕРЖАНИЕ

КОЛОНКА РЕДАКТОРА

Чернышев Б.В.

Введение 5

КОГНИТИВНАЯ ПЕДАГОГИКА

Ермолова Т.В., Литвинов А.В., Балыгина Е.А., Савицкая Н.В.

Нейробиология когнитивных компетенций младшего школьного возраста:
новейшие зарубежные исследования 8

Ребрейкина А.Б., Ларионова Е.В., Мартынова О.В.

Динамика вызванных потенциалов в процессе становления грамотности 21

Клеева Д.Ф., Ребрейкина А.Б., Сысоева О.В.

Компоненты вызванного потенциала в исследовании перцептивного научения 34

Разоренова А.М., Скавронская В.В., Тюленев Н.Б., Рытикова А.М., Чернышев Б.В.

Может ли научение новым словам в слуховой модальности вести к быстрому
формированию пластических перестроек в коре больших полушарий у взрослых? 46

НЕЙРОНАУКИ

Разумникова О.М., Кривоногова К.Д.

Сенсорная депривация как модель реализации компенсаторных ресурсов мозга:
обзор зарубежных исследований 57

Арутюнова К.Р., Созинова И.М., Александров Ю.И.

Мозговые основы моральной оценки действий 68

Ковалева А.В.

Нейрокогнитивные аспекты процессов тайминга и слухомоторной синхронизации 82

Сайфулина К.Э., Козунова Г.Л., Медведев В.А., Рытикова А.М., Чернышев Б.В.

Принятие решения в условиях неопределенности: стратегии исследования
и использования 93

Вне тематики

ОБЩАЯ ПСИХОЛОГИЯ

Горбунова Е.С.

Перспективы использования задач зрительного поиска в современной
когнитивной психологии 107

СОЦИАЛЬНАЯ ПСИХОЛОГИЯ

Акинкина Я.М.

Понятие «интенсивного родительства» в зарубежной литературе 117

ПСИХОЛОГИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

Вилкова К.А.

Измерение саморегулируемого обучения: обзор инструментов 123

Наши авторы

133

CONTENTS

NOTES FROM EDITOR

Chernyshev B.V.

Introduction 5

COGNITIVE PEDAGOGY

Ermolova T.V., Litvinov A.V., Balygina E.A., Savitskaya N.V.

Neurobiology of cognitive competencies in primary school age: the latest foreign research 8

Rebreikina A.B., Larionova E.V. Martynova O.V.

Event-related potentials during literacy acquisition 21

Kleeva D.F. Rebreikina A.B., Sysoeva O.V.

Components of Event-Related Potentials in studies of perceptual learning 34

Razorenova A.M., Skavronskaya V.V., Tyulenev N.B., Rytikova A.M., Chernyshev B.V.

Can learning new words in auditory modality lead to rapid cortical plasticity in adults? 46

NEUROSCIENCES

Razumnikova O.M., Krivonogova K.D.

Sensory deprivation as a model for the actualizing compensatory brain resources 57

Arutyunova K.R., Sozinova I.M., Alexandrov Yu.I.

Brain activity during moral judgement of action 68

Kovaleva A.V.

Neurocognitive aspects of timing and sensorimotor synchronization 82

Sayfulina K.E., Kozunova G.L., Medvedev V.A., Rytikova A.M., Chernyshev B.V.

Decision making under uncertainty: exploration and exploitation 93

Outside of the theme rooms

GENERAL PSYCHOLOGY

Gorbunova E.S.

Prospects for using visual search tasks in modern cognitive psychology 107

SOCIAL PSYCHOLOGY

Akinkina Y.M.

The concept of «intensive parenthood» in foreign literature 117

EDUCATIONAL PSYCHOLOGY

Vilkova K.A.

Measuring self-regulated learning: a review of questionnaires 123

Our authors

135

КОЛОНКА РЕДАКТОРА NOTES FROM EDITOR

Введение

Чернышев Б.В.

*Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ);
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ имени М.В. Ломоносова);
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8267-3916>, e-mail: b_chernysh@mail.ru*

Introduction

Boris V. Chernyshev

*Moscow State University of Psychology & Education;
Lomonosov Moscow State University;
National Research University «Higher School of Economics», Moscow, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8267-3916>, e-mail: b_chernysh@mail.ru*

Вопрос о взаимосвязи психического и физиологического стоит перед человеком с глубокой древности и до наших дней. В явном виде он привлек внимание мыслителей благодаря Рене Декарту¹, разделившему все сущее на две субстанции — телесную и духовную. Таким образом, психические и физиологические процессы были разграничены, а вопрос об их возможном взаимодействии волновал не только самого Декарта, но и многие умы человечества на протяжении столетий.

Однако если в прошлом так называемая психофизиологическая проблема выступала труднопреодолимой границей познания, то начиная с середины XX века наука получила замечательную возможность объединить психологические и нейробиологические исследования.

В первую очередь этому способствовала когнитивная революция, истоки которой сформировались еще в 30-е гг. XX века. Фактическое рождение когнитивной науки часто связывают с историческим симпозиумом, состоявшимся в 1956 г. в Массачусетском технологическом институте, а к началу 60-х гг. двадцатого столетия рождение новой междисциплинарной науки уже стало ощутимой реальностью². Круг научных дисциплин, объединившихся в новое направление, включал компьютерную науку, психологию, философию, лингвистику, антропологию и нейронауку.

Ключевым аспектом нового направления стал кибернетический. Информационный подход стал основой анализа психических процессов и явлений. Поскольку обработка информации происходит в мозге, то нейробиологические знания стали неотъемлемой составляющей и одним из краеугольных камней нового здания — нового направления. В конце 70-х гг. интерес к когнитивной нейронауке существенно возрос, что выразилось приростом финансирования и привело к взрывному росту объема исследований в этой области знаний.

Второй важнейший фактор, обеспечивший бурный рост данного направления — это череда технологических прорывов, которые привнесли в нейрокогнитивные исследования долгожданные методы исследования структуры и функций мозга: сначала электроэнцефалографию, потом — микроэлектродные технологии, и в последние десятилетия XX века — современные методы нейровизуализации, включая позитронно-эмиссионную томографию, функциональную магнитно-резонансную томографию, магнитоэнцефалографию, а также другие методы и инструменты.

У исследователей появилась нереальная прежде возможность проводить эксперименты в целом типичные для экспериментальной психологии, лингвистики и других наук, но при этом позволяющие регистриро-

¹ Декарт Р. Размышления о первой философии, в коих доказывается существование Бога и различие между человеческой душой и телом // Декарт Р. Сочинения: в 2 т. Т. 1. / Под ред. В.В. Соколовой. М.: Мысль, 1994. С. 3—73.

² Miller G.A. The cognitive revolution: a historical perspective // Trends in Cognitive Sciences. 2003. Vol. 7. № 3. P. 141—144. DOI:10.1016/S1364-6613(03)00029-9

вать активность головного мозга человека в реальном времени, а также с высокой точностью выявлять и изучать в этом контексте анатомические, биохимические и генетические особенности мозга.

Бурное развитие высоких технологий исследования мозга позволяет с оптимизмом смотреть на перспективы развития когнитивной науки, транслирующей нам как фундаментальные знания о природе человека, его психики и мозга, так и практические методы, применимые в психологии, педагогике, эргономике, экономике и других областях деятельности, от которых зависят благополучие и развитие общества.

В настоящее время когнитивная нейронаука тесно переплетена со многими научными направлениями, включая психологию, педагогику, лингвистику, экономику: нейробиологические методы позволяют собирать новые ценные данные, получение которых иными способами было бы невозможно, верифицировать гипотезы и выдвигать новые, создавать новые теоретические фундаменты для дальнейших исследований. Междисциплинарные исследования на стыке разных дисциплин, включая экспериментальную психологию, с нейронаукой, стали стандартом развития современной науки³.

В этом номере журнала представлены зарубежные фундаментальные и прикладные исследования когнитивных процессов, выполненные нейробиологическими методами и с применением нейробиологического подхода.

В статьях дано описание материалов о нейрокогнитивных механизмах широкого спектра когнитивных процессов, таких как восприятие, речь, принятие решений, эмоции и моральные суждения. Изложены эмпирические данные, полученные с помощью различных современных методик исследования структуры и функций мозга, включая электроэнцефалографию, магнитоэнцефалографию, магниторезонансную томографию и др. Детально проанализированы мозговые процессы в неразрывной связи с особенностями поведения человека. Освещены исследования и теоретические концепции, применимые к людям различного возраста, включая и взрослых, и младших школьников; при этом акцент сделан на анализе процессов обучения и образовательных стратегиях. Рассматриваются когнитивные процессы как у здоровых людей, так и у пациентов с различными нейрокогнитивными патологиями и нарушениями развития.

На этом фоне когнитивная педагогика становится новой перспективной областью познания, в которой по аналогии с когнитивной психологией человек рассматривается как познающая система⁴. И вклад нейро-

биологии в развитие этой многообещающей мультидисциплинарной области может быть значительным. В статье Т.В. Ермоловой, А.В. Литвинова, Е.А. Балыгиной, Н.В. Савицкой рассматриваются особенности нейрокогнитивного статуса детей младшего школьного возраста. Здесь дан обзор достижений в таких направлениях, как нейробиология компенсаторно-регуляторных механизмов преодоления врожденных трудностей обучения, образовательные стратегии, оптимизирующие нейробиологический статус учащегося, нейробиологический инструментарий развития когнитивной сферы, средовые и психосоматические факторы, воздействующие на нейрокогнитивный статус учащегося.

Три публикации рассматривают когнитивные и нейробиологические механизмы важнейших компонентов педагогического процесса — научения и памяти. А.Б. Ребрейкина, Е.В. Ларионова и О.В. Мартынова анализируют данные, полученные с помощью метода вызванных потенциалов, в отношении грамотности, в том числе в процессе освоения языка и при дислексии. Д.Ф. Клеева, А.Б. Ребрейкина и О.В. Сысоева посвятили свой обзор изменениям вызванных потенциалов после зрительного и слухового перцептивного обучения.

Наконец, в статье А.М. Разореновой, В.В. Скавронской, Н.Б. Тюленева, А.М. Рытиковой, Б.В. Чернышева рассматриваются мозговые механизмы фонологического и семантического научения новым словам. Расширение знаний по этим направлениям может способствовать совершенствованию методов преподавания не только родного и иностранных языков, но и практически любых других дисциплин, требующих запоминания терминов, образов и других объектов.

Проблематика научения затронута также в обзорной статье О.М. Разумниковой и К.Д. Кривоноговой, в которой рассматриваются закономерности формирования компенсаторных резервов мозга при сенсорной депривации в зрительной и слуховой системе.

Когнитивные и нейрофизиологические основы моральной оценки действий рассмотрены в статье К.Р. Арутюновой, И.М. Созиновой и Ю.И. Александрова.

Статья А.В. Ковалевой посвящена нейрокогнитивным механизмам способности к оценке временных интервалов и к синхронизации своей активности с внешними слуховыми стимулами.

Мозговые механизмы баланса между стратегиями исследования и использования при принятии решений в условиях неопределенности проанализированы в ста-

³ Фаликман М. Новая волна Выготского в когнитивной науке: разум как незавершенный проект [Электронный ресурс] // Психологические исследования. 2017. Т. 10. № 54. 2 с. URL: <http://psystudy.ru/index.php/num/2017v10n54/1449-falikman54.html> (дата обращения: 11.06.2020).

⁴ Сергеев С.Ф. Когнитивная педагогика: пользовательские свойства инструментов познания [Электронный ресурс] // Школьные технологии. 2011. № 2. С. 35—41. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kognitivnaya-pedagogika-polzovatelskie-svoystva-instrumentov-poznaniya/viewer> (дата обращения: 11.06.2020).

ть К.Э. Сайфулиной, Г.Л. Козуновой, В.А. Медведева, А.М. Рытиковой и Б.В. Чернышева. Затронутые в статье механизмы принятия решений имеют прямое отношение к любой деятельности человека — от предпринима-

теля, выбирающего экономические пути повышения прибыли, и преподавателя, выбирающего педагогические методы для оптимизации передачи знаний, до повседневного бытового уровня.

Информация об авторах

Чернышев Борис Владимирович, кандидат биологических наук, руководитель Центра нейрокогнитивных исследований (МЭГ-центр), Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ); доцент, кафедра высшей нервной деятельности, биологический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ имени М.В. Ломоносова); доцент, департамент психологии, факультет социальных наук, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8267-3916>, e-mail: b_chernysh@mail.ru

Information about the authors

Boris V. Chernyshev, PhD in Biology, Head of the Center for Neurocognitive Research (MEG-center), Moscow State University of Psychology & Education; Associate Professor, Department of Higher Nervous Activity, Faculty of Biology, Lomonosov Moscow State University; Associate Professor, Department of Psychology, National Research University «Higher School of Economics», Moscow Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8267-3916>, e-mail: b_chernysh@mail.ru

Получена 08.06.2020
Принята в печать 09.06.2020

Received 08.06.2020
Accepted 09.06.2020

КОГНИТИВНАЯ ПЕДАГОГИКА COGNITIVE PEDAGOGY

Нейробиология когнитивных компетенций младшего школьного возраста: новейшие зарубежные исследования

Ермолова Т.В.

*Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4260-9087>, e-mail: yermolova@mail.ru*

Литвинов А.В.

*Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ);
Российский университет дружбы народов (ФГАОУ ВО РУДН),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3306-0021>, e-mail: alial01@yandex.ru*

Бальгина Е.А.

*Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5558-1389>, e-mail: elenabalygina@rambler.ru*

Савицкая Н.В.

*Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1769-5553>, e-mail: n.sawa@yandex.ru*

В статье представлены зарубежные исследования текущего года, раскрывающие особенности нейрокогнитивного статуса в младшем школьном возрасте по ряду направлений. Это нейробиология компенсаторно-регуляторных механизмов преодоления врожденных трудностей обучения; образовательные стратегии, оптимизирующие нейробиологический статус учащегося; нейробиологический инструментальный развития когнитивной сферы учащихся; средовые и психосоматические факторы, воздействующие на нейрокогнитивный статус учащегося. В качестве ведущих элементов формирования когнитивных компетенций авторами выделены ресурсы памяти, возможности исполнительной деятельности, реакции торможения, самоконтроль. Совокупность проанализированных материалов составляет доказательную базу в пользу значимости качества образовательной среды и внимания к учащимся с трудностями обучения в первые школьные годы.

Ключевые слова: младший школьный возраст, когнитивная гибкость, коннективность, зоны коры, исполнительная деятельность, рабочая память, торможение, учебные трудности.

Для цитаты: Нейробиология когнитивных компетенций младшего школьного возраста: новейшие зарубежные исследования [Электронный ресурс] / Т.В. Ермолова, А.В. Литвинов, Е.А. Бальгина, Н.В. Савицкая // Современная зарубежная психология. 2020. Том 9. № 2. С. 8—20. DOI:<https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090201>

Neurobiology of cognitive competencies in primary school age: the latest foreign research

Tatiana V. Ermolova

*Moscow State University of Psychology & Education,
Moscow, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4260-9087>, e-mail: yermolova@mail.ru*

Aleksandr V. Litvinov

*Moscow State University of Psychology & Education; Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University),
Moscow, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3306-0021>, e-mail: alial01@yandex.ru*

Elena A. Balygina

*Moscow State University of Psychology & Education,
Moscow, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5558-1389>, e-mail: balygina@nextmail.ru*

Natalia V. Savitskaya

*Moscow State University of psychology & Education,
Moscow, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1769-5553>, e-mail: n.sawa@yandex.ru*

This paper presents the current researches revealing the peculiarities of neurocognitive status in primary school age and illustrating the achievements of the scientific school of foreign universities in such areas as: neuroscience compensatory-regulatory mechanisms of overcoming congenital learning difficulties; educational strategies that optimize the neurobiological status of the student; neurobiological tools for the development of the cognitive sphere of students; environmental and psychosomatic factors that affect the neurocognitive status of young students. The authors allocated memory resources, executive activity capabilities, inhibition reactions and self-control as the main elements in cognitive competencies' formation. The materials provide evidence in favor of the importance of the quality of educational environments and attention to students with learning difficulties in their first school years.

Keywords: junior school age; cognitive flexibility, connectiveness; zones of cerebral cortex; executive activity; working memory, inhibition, learning difficulties.

For citation: Ermolova T.V., Litvinov A.V., Balygina E.A., Savitskaya N.V. Neurobiology of cognitive competencies in primary school age: the latest foreign research [Elektronnyi resurs]. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya = Journal of Modern Foreign Psychology*, 2020. Vol. 9, no. 2, pp. 8—20. DOI:<https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090201> (In Russ.).

Введение

Специалисты системы образования, непосредственно работающие с детьми, практически единодушны в том, что современное поколение школьников представляет собой довольно сложную популяцию, обучение которой ставит перед педагогами совершенно новые задачи, к решению которых они зачастую оказываются не готовы. Одним из вызовов, с которым сталкивается современная система образования, можно назвать приход в школу поколения «цифровых с рождения» (born digital) [21], сменивших школьников из поколения «цифровых аборигенов» (digital natives) [20].

Но цифровая революция не единственное, что существенно меняет сферу образования и ставит учителей в затруднительное положение. Дополнительными вызовами становятся постепенное распространение системы инклюзивного образования в школах, к которому многие учителя оказываются психологически и профессионально неподготовленными, а также постоянно увеличивающийся процент учеников, у которых в силу разных причин в самом начале школьного обучения выявляются непродуктивные реакции на ключевые параметры школьной жизни.

В связи с этими тенденциями в последние годы во всем мире четко прослеживается запрос учителей на обновление своих знаний о психологии младшего

школьного возраста, о причинах, которые вызывают у младших школьников трудности в обучении и о возрастной нейробиологии когнитивных компетенций школьников, во многом определяющих успешность школьного обучения. Наука пока не готова ответить на все эти запросы, но в последние полтора года наблюдается существенный рост публикаций по этой теме, среди которых преобладают прикладные исследования с акцентом на нейробиологию детского возраста, в том числе — в периоде школьного обучения. Целью данной статьи является ознакомление читателей с новейшими исследованиями по нейробиологии когнитивных процессов, появившимися в зарубежной литературе в 2019—2020 г.

Основная часть

В исследованиях последних лет проблемы нейропсихологии школьного возраста соотнесены с концепциями классической экспериментальной нейробиологии. В качестве примера можно привести публикацию группы американских психологов университета Висконсин-Милуоки (Х. Юсуф, В.Л. Элсер, М. Сигал и др., 2020) о нейробиологических механизмах формирования страхов [14]. Она актуальна не только потому, что позволяет уточнить природу страхов у младших

учащихся, для которых эти эмоциональные состояния являются довольно распространенным явлением [11], но и потому, что, будучи на первый взгляд узконаправленной, она фактически посвящена феномену пластичности нейронов, от которой зависят ресурсы обучения и памяти (имеется в виду нейрофизиологический уровень «обучаемости», т. е. закрепления информации). Описывая этот феномен, авторы подчеркивают тот факт, что пластичность нейрона определяется его внутренней возбудимостью. Пластичность динамична и регулируется структурами мозга (миндалины, гиппокамп, ретроспленальная кора, префронтальная кора). Другими словами, нейронная пластичность — это фактор, тесно связанный с качеством обучения живой биосистемы. Свойство пластичности авторы связывают с качеством ионного трансфера по межнейронным связующим элементам (синапсам), обеспечивающим обмена нервными импульсами между клетками мозга. Подтверждением этому может выступить серия исследований французских и американских нейробиологов, доказавших, что так называемые ионные каналы, создающие определенный тонус в потоке К-Са ионов, управляют внутренней пластичностью и возбудимостью (модуляциями) нейронной цепи в разных зонах мозга [7; 10].

Еще одним доказательством того, что возбудимость нейронов гиппокампа (зоны консолидации памяти из кратковременной в долговременную) определяет успешность обучения, являются данные цикла исследований, проведенных в Северо-Восточном университете в Чикаго учеными, которые изучали механизмы хранения информации в нейронных сетях млекопитающих [18]. Авторы пришли к заключению, что возбудимость этой группы нейронов сама изменяется по мере взросления организма и накапливающегося опыта обучения. Действительно, исследование, проведенное в Бразилии Т. Франком (2019) на лабораторных животных, показало, что нейрогенез в зоне гиппокампа ответственен за поведенческие механизмы тревожности, тормозные реакции и ресурсы памяти и в зависимости от зрелости нейронов возможны переключения с одного рода деятельности на другой (с возбуждения на торможение, с ингибирования на стимуляцию) [13].

Классические исследования нейрогенеза в лабораторных условиях хотя и позволяют глубже проникать в природу данного явления, фиксировать его универсальность в разных группах подопытных животных, а также имплицитно проецировать эти процессы на поведение младшего школьника, тем не менее не имеют единой стратегии поиска данных, проводятся в разных условиях, используют разные экспериментальные модели и ставят перед собой разные цели и задачи. Это затрудняет использование получаемых данных «напрямую» для решения дидактических задач в рамках так называемой «доказательной педагогики» (evidence-based pedagogy).

Согласно имеющимся сведениям, современные школьные учителя в наибольшей степени заинтере-

сованы в данных тех исследований детского развития (в том числе междисциплинарных), где анализируются нейробиологические механизмы конкретных явлений, с которыми они чаще всего встречаются на практике (агрессия, задержки психического развития разной этиологии, дефекты речи, памяти, внимания и т.д.) [26].

Нейробиологические компенсаторно-регуляторные механизмы преодоления врожденных речевых трудностей

Одним из таких наиболее значимых междисциплинарных исследований текущего года можно назвать исследование нейронных сетей мозга у младших школьников с анамнезом экстремально-преждевременного рождения, как находящихся в группе риска когнитивных дисфункций [23]. Эта работа была проведена группой неонатологов и психоневрологов университетских клиник и научно-исследовательских центров Цинциннати и Торонто (М.И. Барнс-Дэвис, Б.Дж. Вильямсон, Л.С. Мерхар, С.К. Голланд, Д.С. Кадис, 2020).

Наблюдение велось за группой детей, с младенчества до младшего школьного возраста, рожденных экстремально-преждевременно на сроке гестации менее 28 недель, так называемой extremely-preterm (ЕРТ) — группой, обычно относимой к группе высокого риска нарушений нейроразвития. Однако, по мнению авторов, эти проблемы преодолимы: до 65% детей, родившихся даже на сроке гестации в 23 недели, адекватно развиваются и в начальной школе даже считаются одаренными. Данное исследование было направлено на раскрытие механизма, позволяющего реализовать такой шанс на успешный онтогенез.

Авторы выстроили алгоритм своего исследования как последовательное сочетание анализа информации и собственных результатов. На фоне малочисленности работ по механизмам и факторам рисков повреждающего действия преждевременных родов, они провели анализ литературного материала и вычленили факты снижения объема мозга в ЕРТ-группе, более низкого качества овладения речью, дефицитов исполнительного функционирования. Они обратили внимание на данные о том, что в дополнение к сниженному общему объему мозга у ЕРТ-детей некоторые его структуры оказываются особенно затронутыми, включая мозолистое тело, гиппокамп и мозжечок.

Авторы прибегли к инструментальному изучению этих структур и с помощью магнитоэнцефалографии (МЭГ) обнаружили: в ЕРТ-группе повышена коннективность (количество межнейронных связей) между левой и правой перисильвиарными областями (сильвиева борозда отделяет лобную и теменную доли от височной). При этом наблюдается относительно увеличенная справа налево перисильвиарная коннективность при выполнении аудиозадания. Эти наблюдения

мотивировали авторов на расширение поиска особенностей речевого развития у детей, перенесших экстремально-преждевременные роды.

Благодаря использованию МЭГ, авторы смогли использовать инструмент эффективного подключения — повышенную временную разрешающую способность, чтобы проследить непосредственно за направленным потоком информации (т. е. за сигналами, отражающими действующую коннективность). Действительно, этот анализ выявил у ЕРТ-группы существенно повышенный информационный поток справа налево. Авторы считают этот эффект проявлением не со стороны сложно-координированной корковой «полезной рабочей поверхности», но со стороны коннективной речевой сети, больше всего повреждаемой недоношенностью.

Далее авторы перешли к изучению изменений в белом веществе мозга, которые могли бы отвечать за нетипичные динамические проявления речевой сети у ЕРТ-детей. Они приняли во внимание литературные данные о том, что рождение не в естественные сроки провоцирует повреждение зачаточных клеток нервной сети, тормозя развитие нейронной сети мозга и вызывая повреждение белого вещества.

Этот этап исследования потребовал подключения высокой технологии определения фракционной анизотропии (ФА), позволяющей оценить «направленную» организацию структуры головного мозга, которая зависит от количества и ориентации проводящих путей (трактов) белого вещества. Его уровень, по признанию ученых, связан с когнитивным старением. Точнее, это своего рода маркер неврологического, когнитивного и функционального статуса локусов мозга. Из клинической практики известно, что уровень ФА повышен у пациентов с речевыми нарушениями в зоне таламуса на противоположной поражению стороне: например, в остром периоде ишемического инсульта параллельно инициируются процессы нейродегенерации и нейрорепарации, связанные с изменением интегральности белого и серого вещества головного мозга, т. е. изменениями в проводящих путях [8].

Обобщая эти данные, можно предположить, что величина ФА является ранним маркером аксональной дегенерации. Ее повышение или снижение на стороне очага поражения еще не нашло достоверного объяснения. Есть мнение, что низкая ФА в зоне мозолистого тела может рассматриваться в качестве предиктора неврологического дефицита и низкого когнитивного статуса [1].

Имеющиеся сведения об уровне ФА у детей, рожденных преждевременно, противоречивы. В литературных источниках встречаются неоднозначные сообщения о механизмах, регулирующих развитие белого вещества у недоношенных детей. Сложность заключается в том, что в разных локусах мозга могут наблюдаться как снижение ФА, так и его повышение [17].

Данные о применении инструмента пространственной статистики состояния нервных пучков мозговых

структур экстремально недоношенных детей встречаются и у других авторов [4]. Ими показано, что повышение уровня ФА белого вещества в зоне дорсального и вентрального (задних и передних) нервных путей в правом полушарии позитивно коррелирует с улучшением достижений в речевых навыках у учащихся, родившихся резко недоношенными. Повышение уровня ФА в специализированных нервных пучках коррелирует с множеством специфических речевых (языковых) областей (так, показатели правосторонней передней зоны таламуса коррелируют со скоростью обработки информации; второстепенные показатели левостороннего и правого форцепса мозолистого тела — с пассивным словарным запасом; правостороннего нижележащего лобно-затылочного пучка — с вербальными способностями) [9]. В то же время, траектории развития белого вещества в младенчестве и раннем детстве нелинейны, и замедленная динамика изменений у недоношенных детей может быть связана с когнитивными и речевыми нарушениями.

На следующей стадии исследования авторы [23] изучали иннервацию мозолистого тела. Это самый крупный спаечный пучок белого вещества, соединяющий левое и правое полушария; это структура, объем которой у недоношенных детей снижен. Этими учеными получены данные, что у недоношенных детей ФА мозолистого тела снижена и в равной мере снижена ФА зоны нервно-проводящих путей, проходящих через мозолистое тело, что ассоциируется обычно с лингвистическими проблемами у детей, родившихся недоношенными.

Рабочая гипотеза исследования основывалась на том, что у детей и молодых людей, достигших совершеннолетия, вследствие истории их рождения недоношенными прослеживаются отклонения траектории развития белого вещества и характерная коннективность мозговых локусов. Это логично: ЕРТ-дети нуждаются в дополнительных нервных проводящих путях в зоне мозолистого тела, чтобы компенсировать ущерб белому веществу от недоношенности. Предположительно, такая внекаллозальная структурная связность может лежать в основе межполушарной функциональной гиперконнективности.

Для подтверждения гипотезы было проведено неинвазивное обследование детей младшего школьного возраста (7 лет) с историей экстремально-преждевременного рождения (на сроке менее 28 недель гестации и массой тела при рождении менее 1500 г.). Как оказалось, у ЕРТ-детей действительно имеет место повышенная функциональная коннективность, которая поддерживается обходной (возможно компенсаторной) структурной речевой сетью.

Авторы считают, что обходящая мозолистое тело структурная гиперконнективность может считаться биомаркером сопротивляемости неблагоприятным условиям и шансом на выживаемость, особенно в ситуациях недоношенности, поскольку она позитивно коррелирует с достижениями ЕРТ-детей, при этом по степени вовле-

ченности недоношенного ребенка в описанный межполушарный кортико-мозжечковый тракт можно прогнозировать его дальнейшие учебные достижения.

Авторы в результате пришли к выводу, что с когнитивными процессами, главным образом исполнительными функциями, сопряжены немоторные функции мозжечка. Учитывая, что для крайне недоношенных детей характерен когнитивный дефицит, эти разработки весьма актуальны. Они задают перспективу работы с ЕРТ-группой детей и обращают внимание специалистов на работы, в которых рассматриваются причины повышенного интереса этих детей к совместному чтению и отказа от самостоятельного чтения и в которых выявлены связи этих тенденций с повышенной правосторонней активацией зоны мозжечка.

Кроме того, авторы ссылаются на то, что у доношенных детей с диагностированной дислексией также повышен уровень ФА в мозжечковых проводящих пучках от правосторонней зоны мозжечка к левосторонней височно-теменной зоне. Существует теория, что данное проецирование («перевброс») с правосторонней фронтальной (передней) части мозжечка может быть регулирующим механизмом, способствующим компенсации слабой корковой сети, ответственной за навык чтения.

Результаты этого объемного, впечатляющего по уровню и глубине исследования позволяют говорить о наличии у ЕРТ-детей адаптивных механизмов компенсации дисматuration и повреждений белого вещества, связанных с недоношенностью.

Это отвечает теории о роли мозжечка как эффективно работающего биорегулятора и корректора нервных путей при формировании речевых и языковых навыков и овладении чтением. Приходится признать, что в мозгу ЕРТ-детей перенесенная травма белого вещества может постоянно нарушать процессы восприятия и адекватного воспроизведения речевой/языковой информации, что требует увеличения вклада от мозжечка для достижения биологически адекватного функционирования.

Важно отметить, что данное исследование продемонстрировало сопротивляемость, выживаемость, пластичность биосистем. В угрожающей развитию ситуации проявляются адаптивные ресурсы реструктуризации с помощью обходных стратегий (гиперконнективности). Авторы не говорят об этом феномене с общепсихологических позиций, но подчеркнуть этот момент необходимо. Благодаря ему многократно повышается методическая и научная ценность данной публикации.

Аналогичная по замыслу работа проведена группой ученых университета Лейден (Л. Янсен, К. Петерс-Шольте, С. Виггерс-де Брюин, А. ван ден Берг-Хайсманс и др., 2020) [6]. Эти авторы концептуально объединили в одно- и многофакторных моделях сильную недоношенность, экстремально-преждевременные роды, травмы белого вещества, академическую успеваемость в возрасте девяти лет, материнские стра-

тегии воспитания и уровень образования матерей. При этом граница преждевременных родов указана на сроке менее 32 недель, что почти на 10 недель позднее, чем в публикации американско-канадской группы и ближе к естественному сроку родов.

Тем не менее, авторы считают таких детей относящимися к группе риска в связи с внутриутробными травмами белого вещества, что в отсроченной перспективе может приводить к трудностям в понимании ими прочитанного (в большей степени выраженным у мальчиков), дискалькулии, слабому владению правилами правописания и грамматики. Они экспериментально доказывают необходимость специальных образовательных программ для недоношенных детей и специального здоровьесберегающего сопровождения, особенно в начальной школе. В частности, в Нидерландах тестирование на образовательные когнитивные функции проводится, по крайней мере, дважды. В целом, в стране до 24% учащихся начальной школы и до 16% дошкольников обучаются по этому формату.

Следует отметить обоснованность выбранного голландскими учеными (когортного) типа исследования, позволившего впервые связать в факторных моделях воедино: преждевременные роды, черепно-мозговые травмы и травмы белого вещества, отсроченные данные по успеваемости в начальной школе, информацию о материнском стиле воспитания и образовании. Такие модели имеют существенное преимущество как инструмент доказательной медицины и педагогики, по сравнению с данными, собираемыми в клинически контролируемой среде и в стандартном тестировании родителей.

В этой публикации также обращает на себя внимание тезис о методологическом значении понятия школьной успеваемости. Авторы полагают, что школьная успеваемость — это не столько способность выполнять задание, сколько критерий способности сосредоточиться на уроке, мотивировать себя, сконцентрировать внимание. Они пришли к выводу, что, несмотря на обстоятельства рождения, существуют способы облегчить когнитивное развитие ребенка, если приложить к этой проблеме усилия. Качество образования матери, по их мнению, играет здесь не последнюю роль.

Еще одной публикацией, анализирующей сниженные нейрокогнитивные способности ребенка и их причины, является работа бельгийских нейробиологов (Б. Полспольб, М. Вандермосте, Берт де Шмедт, 2020), изучавших ассоциативные связи объема серого вещества мозга и сложности коры со свободным овладением арифметическими действиями среди детей 9 лет, т. е. возраста, когда арифметические навыки уже автоматизированы [19]. Они изучали нейронные основы освоения арифметики и дискалькулии и обнаружили их статистически достоверную связь с объемом правосторонней веретенообразной извилины, а также с корковой сложностью левой постцентральной извилины, правосторонней борозды и левосторонней орбитальной борозды.

Авторы постулировали существование «арифметической сети мозга», в которой задействованы зоны коры: лобные, отвечающие за контроль внимания и обеспечивающие функцию рабочей памяти и когнитивного контроля; теменные, активизирующиеся при обработке чисел, и затылочно-височная. При дискалькулии предположительно снижается объем серого вещества в зонах правой задней теменной коры, левой нижней лобной извилины и средней лобной извилины. Авторы выделили островковую зону коры как наиболее тесно связанную с успешностью овладения основами вычисления в возрастном интервале 8—10 лет.

В некоторых более ранних работах зарубежных ученых можно также встретить описание дискалькулии с точки зрения ее нейроанатомических предпосылок. Однако в них акцент сделан на диагностических критериях и стратегиях целевого вмешательства для детей старшего дошкольного и младшего школьного возраста. Эти исследования представлены в нашем обзоре 2016 года [2].

Образовательные стратегии, оптимизирующие нейробиологический статус учащегося

Затронутые в работе голландских исследователей вопросы об образовательных стратегиях, способных компенсировать нейробиологический статус учащихся, оказались предметом исследования еще в целом ряде работ, анализирующих взаимосвязанности состояния нейрокогнитивных ресурсов учащегося, реализации и коррекции этих ресурсов, а также качества жизненной и образовательной среды. В этом отношении показательна публикация специалистов Педагогической школы Даремского университета (Великобритания) о Детском Университете и его социально-ориентированных двухгодичных реабилитационных программах для учащихся начальной школы из неблагополучных и малообеспеченных семей, объемом 30 часов в год [24].

Этот благотворительный фонд по работе со школами помогает преодолеть трудности обучения (чтению и математике), стимулировать обучение и развивать навыки социализации, сочетая учебную деятельность с командной работой во внешкольных клубах и общественных мероприятиях. Тем самым достигаются определенные успехи, как в когнитивном (более беглые чтение и вычисления), так и в некогнитивном (командная работа и социальная ответственность) развитии. Хотя сами авторы оценивают достижения как сравнительно небольшие, их смысл не в абсолютном выражении, а в позитивности вовлечения детей в социальный контекст школьной жизни.

Авторы подчеркивают, что большая часть исследований школьного образования посвящена проблемам успеваемости, тогда как школа должна быть ориентирована не только на академические достижения, а в значительной мере на обучение взаимодействию со

сверстниками и с окружающим миром, на понимание, что такое социум, как подготовиться к жизни, какие личные качества необходимы (устойчивость, решительность, мотивация, уверенность, самооценка и самоэффективность, самоуважение). Эта установка, фактически представляющая собой стратегию психотерапевтического вмешательства, отвечает содержанию так называемых уроков гражданства, введенных в стандартную образовательную программу многих стран. Поэтому столь актуальна дополнительная работа с учащимися, испытывающими трудности обучения и социализации в силу своего нейрокогнитивного статуса, в том числе в формате коучинга.

С этой точки зрения интересна также методологическая публикация специалистов Университета острова Кипр в Никосии об образовательной стратегии, направленной на формирование у учащихся когнитивных и метакогнитивных навыков [16].

Авторы предположили, что для учащихся целью обучения являются не только собственно когнитивные, но и метакогнитивные достижения («знания о собственном познавательном процессе», или расширенные знания). Иными словами, обучающийся должен иметь представления о собственных когнитивных функциях — их сущности, резервах, индивидуальных особенностях — и о том, как контролировать качество своего собственного образовательного процесса. Ученые апробировали когнитивный и метакогнитивный подходы на выборке учеников 15 начальных школ (4-е и 5-е классы), выделив этот этап обучения как стартовый для развития метакогнитивных навыков. На примере обучения математике они смогли показать, какую роль играет педагог в развитии метапознания у учащихся в начальной школе, и, более того, раскрыли влияние качества обучения не только на когнитивную сферу, но и на регуляцию самого процесса познания.

В этом исследовании был получен и неожиданный результат. Оказалось, что умение справляться со своим плохим поведением является фактором, необходимым для формирования метакогнитивных навыков. Проведение операции декодирования этого фактора показало, что он связан с контролем поведения, и, следовательно, регулирует самоуправление учебным процессом. При этом задействованы два аспекта метапознания как два индивидуальных регулятора процесса обучения — прогнозирование и оценка. Иными словами, поведенческий фактор признан стимулом познания в динамической модели метакогнитивности.

В изложенных выше работах четко прослеживается прикладной аспект, а полученные в них результаты вполне могут быть использованы для повышения эффективности образовательного процесса. Для этого необходимо перейти от простого сосредоточения на когнитивных результатах к тому, что больше соответствует первоочередным целям образования, например, саморегуляции объема и качества знаний учащегося.

Нейробиологический инструментарий развития когнитивной сферы учащихся

Группа психологов китайского университета Шэньчжень (Р. Джанг, Ш. Ли, П. Ксу, Т. Мао, 2020) опубликовала результаты работы с когнитивными ресурсами учащихся [27]. Речь идет о формировании навыка продуктивного творческого мышления, а именно — о развитии способности учащихся шестых классов (12—13 лет) применять эвристические индуктивные, экономящие время решения, способы решения математических заданий. Эта работа включена нами в обзор как крайне актуальная несмотря на другой возраст учащихся. В начальной школе по умолчанию еще невозможно овладение описанными в работе стратегиями.

Детальное теоретическое обоснование своего подхода авторы построили на том, что в онтогенезе точному следованию логическим операциям, в частности, формальному способу решения задач, соответствует порядковое (линейное) мышление, закрепляющее определенный алгоритм и один принцип решения проблем/задач. Проективное мышление более пластично и позволяет увидеть проблему/задание целиком, а также выбрать оптимальное решение. Оно выходит за рамки алгоритмов решений, определяет не только образовательные, но и жизненные стили поведения, требует усложненных навыков, прежде всего навыка propositional reasoning — видения связей между условиями задачи в дальнейшей жизни. Психологи образования согласны с тем, что propositional reasoning представляет собой навык ребенка, необходимый ему для овладения конкретными или формальными действиями.

Авторы рассмотрели эту компетенцию в ситуации овладения математическими действиями на примере операции сложения. Они провели сравнительное исследование на индивидуальном уровне с соблюдением конфиденциальности.

Ими была разработана парадигма негативного прайминга (negative-priming), или фиксирования негативных установок в сознании, применительно к образовательному процессу в шестых классах. Было показано, что эффект негативного прайминга, т. е. чрезмерного использования пропорциональных («соразмерных») рассуждений в решении математической задачи, характерен для учащихся. Авторы назвали эту проблему злоупотреблением соразмерностью, показали, что она сопровождается снижением объема рабочей памяти и продемонстрировали как можно преодолеть инерцию мышления с помощью инструмента ингибирующего контроля. В качестве модели ингибирующего контроля они предложили прием «сложения проблем». В этой ситуации учащиеся вынуждены ингибировать пропорциональную эвристику и становятся способными увидеть свои собственные ошибки в решениях. Сниженная емкость рабочей памяти существенным образом тормозит эту способность.

Другими словами, неспособность учащегося проанализировать комплекс проблем («сложение») не всегда связана со сниженными математическими навыками, а может быть вызвана нейрогенными тормозящими механизмами. Они, возможно, не являются определяющими в процессе усвоения учащимися математических операций, но могут выступать в качестве одной из причин трудностей в обучении в младшей школе. Необходимо специально обучать учащихся подавлению стратегий, вводящих в заблуждение (эвристических), и актуализировать так называемые переучиваемые стратегии. Учебный материал для такой цели — решение задач, в условии которых заложен конфликт (противоречие). В частности, на начальных этапах это могут быть и простые арифметические действия (например, требуется сравнить оперативность сложения цифр разными способами, если цифры даны в столбцах и разбиты на пары).

Ценность этой разработки в том, что она показала: решение проблем сложения (совокупный термин) требует работы с учащимися на уровне исполнительных действий, т. е. подавления пропорциональной эвристики и владения стратегией ингибирования. Также становится более понятным, почему учащиеся различаются по способности разрешать конфликты (в учебном материале и в жизненной практике). В действительности причина может заключаться в недостаточности исполнительных ресурсов мозга. В связи с этим важно отметить, что авторы активно оперируют понятием сниженного объема рабочей памяти (working memory capacity — WMC) и пользуются выражением «когнитивный скряга», чтобы обозначить категорию людей с неразвитой WMC, оперирующих только формальными эвристическими стратегиями мышления. Они указали на необходимость повышения квалификации педагогов с обучением технологии сдерживания неактуальных стратегий обучения, тренингу торможения, логическим построениям, развитию WMC и другим нетрадиционным инструментам.

Публикация, подготовленная в итальянском университете Падуи, аналогична по содержанию и ориентирована на стимулирование управляющих функций планирования и реагирования. Ее авторы (Б. Арфе, Т. Варданега, Л. Ронкони, 2020) сообщают о кодировании как инструменте формирования навыков противоположной направленности — планирования и ингибирования (торможения) у детей [5]. Авторы подчеркнули, что вычислительное мышление (computational thinking — СТ), определяемое также как цифровое или компьютерное мышление, и его кодирующий элемент во всем мире внедряются в учебные программы начальной школы. При этом возникло и развивается такое образовательное направление, как компьютерная томография.

Однако этой сравнительно новой сфере уделяется поразительно мало внимания. Практически не известны действующие механизмы этих навыков на когнитивное развитие детей, начиная с первого года школьного обучения, тогда как «цифровое мышление» озна-

чает способность ребенка решать проблемы эффективно. Оно предусматривает уже в первом классе умение: 1) анализировать проблемное пространство, 2) снижать трудность проблемы, разлагая ее на составные элементы, 3) разрабатывать алгоритм или план и 4) проверять, достигает ли он цели.

Авторы исходили из данных о том, что приверженность кодированию может стимулировать развитие двух важных когнитивных функций — планирование действий и торможение спонтанной реакции — уже у детей 6 лет. А планирование и торможение, как уже было сказано, это управляющие функции. В свою очередь, известно, что управляющие функции (executive functions), или комплекс высокоуровневых процессов, позволяют планировать обоснованные текущие действия, реагировать на определенные стимулы и изменять реакцию в зависимости от ситуации. Ее эффективность определяется активностью работы префронтальных зон коры мозга.

В своей работе авторы использовали выборку из 179 учащихся первых классов пяти средних школ без опыта кодирования. С помощью платформы Code.org (специализированной, предназначенной для детей младшего школьного возраста) в экспериментальной подгруппе в течение 4 недель проводилось стандартизированное инструктирование на выполнение четырех задач (в целом на программу кодирования было затрачено 8 часов — два урока в неделю). Оказалось, что кодирование через Code.org действительно стимулировало когнитивное развитие, способствовало уменьшению числа ошибок торможения и повышению времени и точности планирования (т. е. повышению эпизодов успешного подавления автоматизированных заученных реакций). Авторы констатируют, что к возрасту 8—10 лет у учащихся уже формируется полноценная когнитивная деятельность, поддерживаемая компонентами вычислительного мышления (абстракция, декомпозиция, программирование, ингибирование). Особенно же чувствителен к такому обучению оказался возраст поступления в школу (7—8 лет), хотя в ряде случаев навыки подавления и планирования могут быть развиты уже в 5—7 лет. Важно подчеркнуть, что деятельность с помощью Code.org оценивается авторами не только и не столько с точки зрения академических результатов, но и с точки зрения влияния на когнитивную систему ребенка в целом.

Нейробиологический инструментарий в системе образования, по мнению ученых, может выполнять и здоровьесберегающую функцию.

Так, специалисты Австралии (университет Дикина) и Италии (университет спорта и движения «Fogo Italico») [12] обратили внимание на то, что дети проводят 70% школьного дня в закрытом помещении (классе). Авторы заявили, что когнитивно сложные активные перерывы (с выполнением заданий на внимание в режиме движения) могут не только принести пользу физическому здоровью, но и мотивировать улучшение когнитивных функций у детей. Свою концепцию они

сформулировали для начальных классов обычных и специализированных школ, учитывая, что в специальных школах существуют трудности с ментальностью детей (дети с расстройствами нервного развития могут найти задачи слишком сложными). Опрос участников пробных программ показал, что дети в восторге от активных перерывов, а педагоги выражают признательность ученым за комплексный подход к развитию интеллектуальных и физических компетенций «в одном флаконе».

Выяснилось, что дети 6—8 лет в наибольшей степени нуждаются в таком образовательном компоненте и получают наибольшие познавательные выгоды от когнитивно-моторно-стимулирующего характера перерывов. Они успешно достигают сбалансированности номинальных, функциональных и воспринимаемых затруднений (т. е., соответствия между сложностью задачи, умением выполнять задание в заранее определенных условиях и реакцией на вызов). Они становятся, таким образом, более мотивированными на обучение.

Ведущей проблемой нейробиологии школьного возраста сегодня является развитие памяти как когнитивного ресурса и формирование исполнительных функций.

Этой проблеме посвящено исследование группы итальянских ученых университета Тренто (В. Хашман, Н. Кашдолар, Ф. Постильони, Р. Джоб, 2020) об особенностях памяти у учащихся с дислексией [25]. Оно опиралось на представление о том, что совершенствование навыка чтения при изучении алфавитных языков основано на базовой когнитивной способности поддерживать последовательный порядок информации в кратковременной памяти (short-term memory). Однако оставалось неясным, в какой именно реперной точке в процессе овладения чтением порядковая последовательность в кратковременной памяти наиболее важна. Поэтому авторы задались целью выявить связь между овладением чтением в начальной школе (1—4-е классы) и работой кратковременной памяти над вербальным и невербальным учебным материалом. В качестве модели нарушения навыка чтения использовалось распространенное в начальной школе явление дислексии.

Учеными была детально зафиксирована в экспериментальной выборке учащихся начальной школы степень нарушения у детей с дислексией изначально необходимых условий для когнитивной обработки языкового материала, поскольку именно они гарантируют способность кодировать, сохранять, и впоследствии генерировать последовательный порядок элементов языка, сохраняя во времени и пространстве их контекст.

Авторы сообщили, что им удалось установить: ресурсы кратковременной памяти у детей с дислексией значительно снижены и проявляется тенденция к упрощению воспринимаемого материала. У детей с дислексией значительно нарушена способность поддерживать последовательный порядок поступающей в

мозг информации, особенно на среднем этапе обучения прочтению слов. Они хуже подготовлены к развитию сложных лингвистических навыков и других когнитивных способностей, в том числе нелингвистического характера. Дефицитность краткосрочной памяти, кроме того, сказывается на возможностях ассоциированного обучения при освоении новых слов, что обедняет словарный запас.

Эта группа исследователей пришла к выводу, что способность поддерживать последовательный порядок в кратковременной памяти появляется на ранних этапах обучения чтению в школьные годы. У детей с дислексией навыки, связанные с кратковременной памятью, как в чтении, так и в серийном порядке, отстают от ровесников, хотя со временем дети с дислексией начинают применять компенсирующие стратегии чтения. При этом критической фазой обучения в начальной школе является, вероятно, фаза между навыком декодирования одной буквы и распознаванием целого слова. В этом временном «окне» еще можно корректировать разрывы навыков чтения и функций кратковременной памяти. Анализ сходных проблем, связанных с последовательной переработкой информации, например в форме «аномии», можно встретить и в российских исследованиях [3].

Нейробиология дислексии младших школьников изучалась также в рамках транснационального масштабного исследования, в котором участвовали психологи университетов Китая, Канады, Франции и Нидерландов [22]. Было показано, что для дислексии характерна недостаточность нейронной сети мозга в бета-диапазоне энцефалограмм, снятых в состоянии покоя. Авторы согласны с другими исследователями в том, что недостаточность нейронной сети проявляется глобальным резким снижением узловых областей («сглаживанием») в структурных сетях мозга в целом. Они также полагают, что дети со сниженными показателями иннервации структур мозга менее эффективны в обработке и передаче информации и овладении орфографией; они замедленны в понимании учебного материала и у них снижены навыки, необходимые для овладения чтением. Исследователи поддержали теорию о том, что топология нейронной сети мозга является определяющей для навыков орфографической обработки и автоматизации при обучении чтению.

Средовые и психосоматические факторы, воздействующие на нейрокогнитивный статус учащегося

В последние годы активно пополняются данные, свидетельствующие о негативном влиянии загрязнений воздуха на когнитивные компетенции детей, в частности на память. В университете штата Юта (США) такое исследование проведено на индивидуальном уровне в масштабной выборке из 16000 учащихся начальных классов [14]. Следует отметить, что в дет-

ских популяциях такие исследования на уровне индивида достаточно редки.

В университетских научных центрах по комплексным проблемам географии, окружающей среды, социологии и устойчивого развития (С. Гринески, Т. Коллинс, В. Адкинс, 2020) установлено, что среди учащихся третьего класса, проживающих вблизи промышленных объектов, снижены уровни овладения чтением, математическим мышлением и основами естествознания. Авторы пришли к выводу, что хроническое воздействие загрязнения воздуха (на примере паров этилированного бензина, перхлорэтилена, растворителей) вредит академическому потенциалу детей, снижая уровень их когнитивного функционирования. Приводятся фактические данные о быстро развивающихся морфологических подкорковых изменениях (комковатых уплотнениях) белого вещества под воздействием высоких уровней загрязнения, начиная уже с годовалого возраста. Эти авторы попытались ассоциативно объединить агрегированные данные осмотров детей в 1319 школах и их образовательные компетенции, представленные в виде результатов стандартизированных тестов на овладение чтением, математикой и основами географии. В результате была построена многомерная модель ситуации, сложившейся в зоне промышленных выбросов, где расположено несколько школ. В модель были введены переменные динамики выбросов диоксида серы, демографической карты, посещаемости занятий, заболеваемости онкологией населения в данном регионе, академической успеваемости (английский язык, математика, география, словесные компетенции учащихся, речевые навыки, чтение). Был сделан вывод о том, что загрязнение воздуха не связано с уровнем мотивации на обучение. Среди образовательных компетенций в большей мере страдали математические, чем языковые и географические. Авторы выразили опасение по этому поводу, так как в США растут запросы на раннее развитие научных компетенций, прежде всего аналитических, и на стимулирование мотиваций к профессиональной научной деятельности (обучению в высшей школе). В связи с этим весьма актуальны связи рисков окружающей среды и тенденции снижения успеваемости школьников.

Авторы пролонгируют связи такого рода на эффект «экологического предписания», применяемый в социологии с 2010-х гг. Он подразумевает, что опасное местожительство наследуется, в результате чего такая популяция стигматизируется как некая «раса», потенциально снижающая качество человеческого капитала (воспроизводство, наследственное неравенство). Дети, не имеющие возможности выбрать место проживания, наследуют загрязненную среду, вследствие чего уже на старте жизни их способности к обучению и жизненные шансы могут быть весьма ограничены. Это особенно опасно для младших школьников, так как успешное когнитивное функционирование в начальной школе закладывает основы высшего образования и профес-

сионального престижа. Авторы неоднократно подчеркивают, что недопустимо даже незначительное негативное влияние на ранние достижения в обучении, связанное с загрязнением жизненной среды, так как исключительно важны академические достижения именно в начальном образовании.

Среди публикаций текущего года встречаются также данные о связи психосоматического и нейробиологического статусов ребенка на примере детского ожирения. Эта проблема достаточно остра, так как, по состоянию на 2015 год, в мире насчитывалось более 107 миллионов детей школьного возраста с ожирением. Официально признано, что эта патология сопровождается нейрокогнитивными нарушениями и дефицитом управляющих функций.

Сотрудники университета Болонья (В. Гуардабасси, К. Томацетто, 2020) обсудили эти данные и впервые сопоставили их со стигматизацией школьников и стереотипами о том, что люди с ожирением менее умны, чем люди с нормальным весом. На основании этих предпосылок авторы попытались уточнить, является ли в действительности стереотип (страх перед социумом) угрозой для памяти у детей с лишним весом [15]

В результате анкетирования 176 мальчиков—учащихся начальной школы (3, 4, 5-х классов) и их родителей оказалось, что уязвимость перед угрозой от стереотипов социума формируется в раннем возрасте и может способствовать дефициту объема рабочей памяти. При этом авторы подчеркивают, что ведущим повреждающим, интернализирующим фактором является именно стигма веса, а не субъективные медицинские или психологические корреляты. Авторы утверждают, что стигма веса одновременно может провоцировать дефицит управляющих функций, когнитивной гибкости, реакции торможения. В свою очередь истощение памяти провоцирует снижение успеваемости — образуется порочный круг, в который постепенно вовлекаются дальнейшие утяжеленные психосоматические нарушения (плохой сон, диабет, поведенческие отклонения). Авторы выводят в своей статье на первый план явление угрозы стереотипа и сопутствующего снижения тормозного контроля; они указывают на необходимость приоритетных образовательных программ, направленных на снижение негативных стереотипов в обществе, и обучающих мероприятий, помогающих детям справляться со стигмой ожирения.

Заключение

Материал статьи демонстрирует новые доказательства того, что нейробиология младшего школьного возраста — многоплановая проблема. Это связано с особенностями психологического и нейропсихологического статуса ребенка в первые годы погружения в образовательную систему и с особенностями личностного развития в этом периоде жизни.

Шансы на успешное обучение можно оценить по показателю нейронной пластичности. Успешность обучения определяется возбудимостью нейронов гиппокампа и нейронной сетью различных зон мозга.

Выявлен и изучается понятийный ряд, критичный для обучаемости. Это внутренние факторы: адаптивные возможности нейростатуса, когнитивная гибкость, сформированность исполнительной деятельности, ингибирующий контроль, целостность вещества мозга. К внешним факторам можно отнести усилия со стороны образовательной системы в самом широком смысле.

В отношении первой группы факторов мы видим, что в неблагоприятных ситуациях рождения имеет место повышение уровня фракционной анизотропии белого вещества в зоне дорсального и вентрального нервных путей в правом полушарии. Эта адаптивная реакция позитивно коррелирует с улучшением достижений в речевых навыках у учащихся, родившихся резко недоношенными. У таких детей адаптивная реакция выражена разрастанием нейронной сети в зоне мозолистого тела — гиперконнекцией.

Мы видим также, что у детей с диагностированной дислексией повышен уровень анизотропии в мозжечковых проводящих пучках от правосторонней зоны мозжечка к левосторонней височно-теменной зоне. Данное проецирование («перевос») с правосторонней фронтальной части мозжечка может быть регулирующим механизмом, способствующим компенсации слабостью корковой сети, ответственной за навык чтения.

В статье упомянут эффект негативного прайминга, т. е. чрезмерного использования пропорциональных рассуждений в решении математической задачи, что характерно для младших учащихся. Эта проблема названа злоупотреблением соразмерностью; она сопровождается снижением объема рабочей памяти. Следовательно, в задачу педагогов входит обучение учащихся навыкам подавления стратегий, вводящих в заблуждение (эвристические).

Школа может и должна помогать преодолеть трудности обучения, стимулировать обучение и развивать навыки социализации, сочетая учебную деятельность с командной работой. Тем самым достигаются успехи как в когнитивном (более беглые чтение и вычисления), так и в некогнитивном (командная работа и социальная ответственность) развитии. Одновременно полезны стратегии компенсирующего чтения и развитие рабочей памяти.

Здоровьесберегающая функция оригинального нейробиологического инструмента состоит в когнитивно сложных активных перерывах уроков с выполнением заданий на внимание в движении. Необходимо, чтобы педагоги также понимали риски для когнитивной сферы среди детей, живущих вблизи промышленных объектов.

Совокупность представленных в статье материалов может быть востребованной современной образовательной системы, как приоткрывающая новые перспективы в организации образовательного процесса в начальной школе.

Литература

1. Дробаха В.Е., Кулеш А.А., Шестаков В.В. Фракционная анизотропия белого и серого вещества головного мозга в остром периоде ишемического инсульта как маркер неврологического, когнитивного и функционального статуса [Электронный ресурс] // Медицинская визуализация. 2015. № 6. С. 8—15. URL: <https://medvis.vidar.ru/jour/article/view/158> (дата обращения: 10.06.2020).
2. Ермолова Т.В., Пономарева В.В., Флорова Н.Б. Дискалькулия детского возраста как системная проблема обучения // Современная зарубежная психология. 2016. Т. 5. № 3. С. 7—27. DOI:10.17759/jmfp.2016050301
3. Модели и методы исследования переработки информации в процессах называния предмета и соотнесения названия с предметом / Ю.В. Микадзе [и др.] // Экспериментальная психология. 2019. Т. 12. № 1. С. 153—166. DOI:10.17759/exppsy.2019120112
4. Anderson P.J., Cheong J.L., Thompson D.K. The predictive validity of neonatal MRI for neurodevelopmental outcome in very preterm children *Semin* // *Seminars in Perinatology*. 2015. Vol. 39. № 2. P. 147—158. DOI:10.1053/j.semperi.2015.01.008
5. Arfe B., Vardanega T., Ronconi L. The effects of coding on children's planning and inhibition skills // *Computers & Education*. 2020. Vol. 148. 16 p. DOI:10.1016/j.compedu.2020.103807
6. Classroom-evaluated school performance at nine years of age after very preterm birth / L. Jansen [et al.] // *Early Human Development*. 2020. Vol. 140. 6 p. DOI:10.1016/j.earlhumdev.2019.104834
7. Debanne D., Russier V. The contribution of ion channels in input-output plasticity // *Neurobiology of Learning and Memory*. 2019. Vol. 166. 8 p. DOI:10.1016/j.nlm.2019.107095
8. Evidence that a Panel of Neurodegeneration Biomarkers Predicts Vasospasm, Infarction, and Outcome in Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage / R. Siman [et al.] // *PLoS One*. 2011. Vol. 6. № 12. 9 p. DOI:10.1371/journal.pone.0028938
9. Extremely preterm children exhibit increased interhemispheric connectivity for language: findings from fMRI-constrained MEG analysis / M.E. Barnes-Davis [et al.] // *Developmental Science*. 2018. Vol. 21. № 6. 9 p. DOI:10.1111/desc.12669
10. Farmer G.E., Thompson L.T. Learning-dependent plasticity of hippocampal CA1 pyramidal neuron postburst afterhyperpolarizations and increased excitability after inhibitory avoidance learning depend upon basolateral amygdala inputs // *Hippocampus*. 2012. Vol. 22. № 8. P. 1703—1719. DOI:10.1002/hipo.22005
11. Fear extinction requires infralimbic cortex projections to the basolateral amygdala / D.W. Bloodgood [et al.] // *Translation Psychiatry*. 2018. Vol. 8. Article ID 60. 11 p. DOI:10.1038/s41398-018-0106-x
12. Feasibility of breaking up sitting time in mainstream and special schools with a cognitively challenging motor task / E. Mazzoli [et al.] // *Journal of Sport and Health Science*. 2019. Vol. 8. № 2. P. 137—148. DOI:10.1016/j.jshs.2019.01.002
13. França T.F.A. Isolating the key factors defining the magnitude of hippocampal neurogenesis' e-ffects on anxiety, memory and pattern separation // *Neurobiology of Learning and Memory*. 2019. Vol. 166. 5 p. DOI:10.1016/j.nlm.2019.107102
14. Grineski S.E., Collins T.W., Adkins D.E. Hazardous air pollutants are associated with worse performance in reading, math, and science among US primary schoolchildren // *Environmental Research*. 2020. Vol. 181. 10 p. DOI:10.1016/j.envres.2019.108925
15. Guardabassi V., Tomasetto C. Weight status or weight stigma? Obesity stereotypes — Not excess weight — Reduce working memory in school-aged children // *Journal of Experimental Child Psychology*. 2020. Vol. 189. 9 p. DOI:10.1016/j.jecp.2019.104706
16. Kyriakides L., Anthimou M., Panayiotou A. Searching for the impact of teacher behavior on promoting students' cognitive and metacognitive skills // *Studies in Educational Evaluation*. 2020. Vol. 189. 14 p. DOI:10.1016/j.stueduc.2019.100810
17. Meta-analysis of neurobehavioral outcomes in very preterm and/or very low birth weight children / C.S. Aarnoudse-Moens [et al.] // *Pediatrics*. 2009. Vol. 124. № 2. P. 717—728. DOI:10.1542/peds.2008-2816
18. Oh M.M., Disterhoft J.F. Learning and aging affect neuronal excitability and learning // *Neurobiology of Learning and Memory*. 2020. Vol. 167. 7 p. DOI:10.1016/j.nlm.2019.107133
19. Polspoel B., Vandermosten M., De Smedt B. The association of grey matter volume and cortical complexity with individual differences in children's arithmetic fluency // *Neuropsychologia*. 2020. Vol. 137. 10 p. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2019.107293
20. Prensky M. Digital Natives, Digital Immigrants [Электронный ресурс] // *On the Horizon*. 2001. Vol. 9. № 5. 6 p. URL: http://www.lablearning.eu/documents/doc_inspiration/prensky/digital_natives_digital_immigrants.pdf (дата обращения: 10.06.2020).
21. Pulfrey J., Gasser U. *Born Digital: How children grow up in a digital age*. New York: Basic Books, 2016. 352 p.
22. Resting-state EEG reveals global network deficiency in dyslexic children / H. Xue [et al.] // *Neuropsychologia*. 2020. Vol. 138. 8 p. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2020.107343
23. Rewiring the extremely preterm brain: Altered structural connectivity relates to language function / M.E. Barnes-Davis [et al.] // *NeuroImage: Clinical*. 2020. Vol. 25. 12 p. DOI:10.1016/j.nicl.2020.102194

24. Siddiqui N., Gorard S., See B.H. Can learning beyond the classroom impact on social responsibility and academic attainment? An evaluation of the Children's University youth social action programme // *Studies in Educational Evaluation*. 2019. Vol. 61. P. 74—82. DOI:10.1016/j.stueduc.2019.03.004
25. The relationship of domain-general serial order memory and reading ability in school children with and without dyslexia / W.M. Hachmann [et al.] // *Journal of Experimental Child Psychology*. 2020. Vol. 193. 39 p. DOI:10.1016/j.jecp.2019.104789
26. Wang Q., Kushnir T. Cultural Pathways in Cognitive Development: Introduction to the Special Issue // *Cognitive Development*. 2019. Vol. 52. 4 p. DOI:10.1016/j.cogdev.2019.100816
27. Why students are biased by heuristics: Examining the role of inhibitory control, conflict detection, and working memory in the case of overusing proportionality / R. Jiang [et al.] // *Cognitive Development*. 2020. Vol. 53. 14 p. DOI:10.1016/j.cogdev.2020.100850

References

1. Drobakha V.E., Kulesh A.A., Shestakov V.V. Fraktsionnaya anizotropiya belogo i serogo veshchestva golovного mozga v ostrom periode ishemicheskogo insulta kak marker nevrologicheskogo, kognitivnogo i funktsional'nogo statusa [Fractional anisotropy of the white and gray matter of the brain in the acute period of ischemic stroke as a marker of neurological, cognitive and functional status] [Elektronnyi resurs]. *Meditsinskaya vizualizatsiya = [Medical imaging]*, 2015. Vol. 6, pp. 8—15. URL: <https://medvis.vidar.ru/jour/article/view/158> (Accessed 10.06.2020). (In Russ.).
2. Ermolova T.V., Ponomareva V.V., Florova N.B. Diskal'kuliya detskogo vozrasta kak sistemnaya problema obucheniya [Childhood dyscalculia as a systemic learning problem]. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya = Journal of Modern Foreign Psychology*, 2016. Vol. 5, no. 3, pp. 7—27. DOI:10.17759/jmfp.2016050301 (In Russ.).
3. Mikadze Yu.V. et al. Modeli i metody issledovaniya pererabotki informatsii v protsessakh nazyvaniya predmeta i sootneseniya nazvaniya s predmetom [Models and methods of researching information processing in the processes of naming an object and correlating a name with an object]. *Ekspierimental'naya psikhologiya = Experimental Psychology (Russia)*, 2019. Vol. 12, no. 1, pp. 153—166. DOI:10.17759/exppsy.2019120112 (In Russ.).
4. Anderson P.J., Cheong J.L., Thompson D.K. The predictive validity of neonatal MRI for neurodevelopmental outcome in very preterm children *Semin. Seminars in Perinatology*, 2015. Vol. 39, no. 2, pp. 147—158. DOI:10.1053/j.semperi.2015.01.008
5. Arfe B., Vardanega T., Ronconi L. The effects of coding on children's planning and inhibition skills. *Computers & Education*, 2020. Vol. 148, 16 p. DOI:10.1016/j.compedu.2020.103807
6. Jansen L. et al. Classroom-evaluated school performance at nine years of age after very preterm birth. *Early Human Development*, 2020. Vol. 140. 6 p. DOI:10.1016/j.earlhumdev.2019.104834
7. Debanne D., Russier V. The contribution of ion channels in input-output plasticity. *Neurobiology of Learning and Memory*, 2019. Vol. 166. 8 p. DOI:10.1016/j.nlm.2019.107095
8. Siman R. et al. Evidence that a Panel of Neurodegeneration Biomarkers Predicts Vasospasm, Infarction, and Outcome in Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage. *PLoS One*, 2011. Vol. 6, no. 12, 9 p. DOI:10.1371/journal.pone.0028938
9. Barnes-Davis M.E. et al. Extremely preterm children exhibit increased interhemispheric connectivity for language: findings from fMRI-constrained MEG analysis. *Developmental Science*, 2018. Vol. 21, no. 6, 9 p. DOI:10.1111/desc.12669
10. Farmer G.E., Thompson L.T. Learning-dependent plasticity of hippocampal CA1 pyramidal neuron postburst afterhyperpolarizations and increased excitability after inhibitory avoidance learning depend upon basolateral amygdala inputs. *Hippocampus*, 2012. Vol. 22, no. 8, pp. 1703—1719. DOI:10.1002/hipo.22005
11. Bloodgood D.W. et al. Fear extinction requires infralimbic cortex projections to the basolateral amygdala. *Translation Psychiatry*, 2018. Vol. 8, article ID 60, 11 p. DOI:10.1038/s41398-018-0106-x
12. Mazzoli E. et al. Feasibility of breaking up sitting time in mainstream and special schools with a cognitively challenging motor task. *Journal of Sport and Health Science*, 2019. Vol. 8, no. 2, pp. 137—148. DOI:10.1016/j.jshs.2019.01.002
13. França T.F.A. Isolating the key factors defining the magnitude of hippocampal neurogenesis' e-ffects on anxiety, memory and pattern separation. *Neurobiology of Learning and Memory*, 2019. Vol. 166, 5 p. DOI:10.1016/j.nlm.2019.107102
14. Grineski S.E., Collins T.W., Adkins D.E. Hazardous air pollutants are associated with worse performance in reading, math, and science among US primary schoolchildren. *Environmental Research*, 2020. Vol. 181, 10 p. DOI:10.1016/j.envres.2019.108925
15. Guardabassi V., Tomasetto C. Weight status or weight stigma? Obesity stereotypes — Not excess weight — Reduce working memory in school-aged children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 2020. Vol. 189, 9 p. DOI:10.1016/j.jecp.2019.104706
16. Kyriakides L., Anthimou M., Panayiotou A. Searching for the impact of teacher behavior on promoting students' cognitive and metacognitive skills. *Studies in Educational Evaluation*, 2020. Vol. 189, 14p. DOI:10.1016/j.stueduc.2019.100810
17. Aarnoudse-Moens C.S. et al. Meta-analysis of neurobehavioral outcomes in very preterm and/or very low birth weight children. *Pediatrics*, 2009. Vol. 124, no. 2, pp. 717—728. DOI:10.1542/peds.2008-2816

18. Oh M.M., Disterhoft J.F. Learning and aging affect neuronal excitability and learning. *Neurobiology of Learning and Memory*, 2020. Vol. 167, 7 p. DOI:10.1016/j.nlm.2019.107133
19. Polspoel B., Vandermosten M., De Smedt B. The association of grey matter volume and cortical complexity with individual differences in children's arithmetic fluency. *Neuropsychologia*, 2020. Vol. 137, 10 p. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2019.107293
20. Prensky M. Digital Natives, Digital Immigrants [Elektronnyi resurs]. *On the Horizon*, 2001. Vol. 9, no. 5, 6 p. URL: http://www.lablearning.eu/documents/doc_inspiration/prensky/digital_natives_digital_immigrants.pdf (Accessed 10.06.2020).
21. Pulfrey J., Gasser U. Born Digital: How children grow up in a digital age. New York: Basic Books, 2016. 352 p.
22. Xue H. et al. Resting-state EEG reveals global network deficiency in dyslexic children. *Neuropsychologia*, 2020. Vol. 138, 8 p. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2020.107343
23. Barnes-Davis M.E. et al. Rewiring the extremely preterm brain: Altered structural connectivity relates to language function. *NeuroImage: Clinical*, 2020. Vol. 25, 12 p. DOI:10.1016/j.nicl.2020.102194
24. Siddiqui N., Gorard S., See B.H. Can learning beyond the classroom impact on social responsibility and academic attainment? An evaluation of the Children's University youth social action programme. *Studies in Educational Evaluation*, 2019. Vol. 61, pp. 74—82. DOI:10.1016/j.stueduc.2019.03.004
25. Hachmann W.M. et al. The relationship of domain-general serial order memory and reading ability in school children with and without dyslexia. *Journal of Experimental Child Psychology*, 2020. Vol. 193, 39 p. DOI:10.1016/j.jecp.2019.104789
26. Wang Q., Kushnir T. Cultural Pathways in Cognitive Development: Introduction to the Special Issue. *Cognitive Development*, 2019. Vol. 52, 4 p. DOI:10.1016/j.cogdev.2019.100816
27. Jiang R. et al. Why students are biased by heuristics: Examining the role of inhibitory control, conflict detection, and working memory in the case of overusing proportionality. *Cognitive Development*, 2020. Vol. 53, 14 p. DOI:10.1016/j.cogdev.2020.100850

Информация об авторах

Ермолова Татьяна Викторовна, кандидат психологических наук, заведующая кафедрой зарубежной и русской филологии, профессор кафедры зарубежной и русской филологии, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4260-9087>, e-mail: yermolova@mail.ru

Литвинов Александр Викторович, кандидат педагогических наук, профессор кафедры зарубежной и русской филологии, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ); доцент кафедры иностранных языков экономического факультета, Российский университет дружбы народов (ФГАОУ ВО РУДН), Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3306-0021>, e-mail: alial01@yandex.ru

Бальгина Елена Анатольевна, кандидат филологических наук, доцент кафедры зарубежной и русской филологии, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5558-1389>, e-mail: elenabalygina@rambler.ru

Савицкая Наталья Васильевна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры зарубежной и русской филологии, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1769-5553>, e-mail: n.sawa@yandex.ru

Information about the authors

Tatiana V. Ermolova, PhD in Psychology, Head of the Chair of Foreign and Russian Philology, Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4260-9087>, e-mail: yermolova@mail.ru

Alexander V. Litvinov, PhD in pedagogy, Professor of the Chair of Foreign and Russian Philology, Moscow State University of Psychology & Education; Associate Professor, Foreign Languages Department at the Faculty of Economics, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3306-0021>, e-mail: alial01@yandex.ru

Elena A. Balygina, PhD in Philology, the Department of Foreign and Russian Philology, Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5558-1389>, e-mail: balygina@nextmail.ru

Natalia V. Savitskaya, PhD in pedagogy, Associate Professor of the Department of Foreign and Russian, psychology, Moscow State University of psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1769-5553>, e-mail: n.sawa@yandex.ru

Получена 15.04.2020

Принята в печать 08.06.2020

Received 15.04.2020

Accepted 08.06.2020

Динамика вызванных потенциалов в процессе становления грамотности

Ребрейкина А.Б.

*Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук (ИНВД и НФ РАН),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5714-2040>, e-mail: anna.rebreikina@gmail.com*

Ларионова Е.В.

*Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук (ИНВД и НФ РАН),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3637-1343>, e-mail: larionova.ekaterin@gmail.com*

Мартынова О.В.

*Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук (ИНВД и НФ РАН),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9047-2893>, e-mail: omartynova@ihna.ru*

Грамотность — сложное разноплановое явление, хорошо изученное в психологии и педагогике. Анализируя отдельные лингвистические процессы, нейрофизиологи пытаются понять механизмы овладения письмом и чтением. В настоящей работе мы рассматриваем данные, полученные с помощью метода вызванных потенциалов, в свете орфографических, лексических, семантических, синтаксических аспектов грамотности, а также изменения компонентов вызванных потенциалов у детей и взрослых в процессе освоения языка и при дислексии — наиболее изученном нарушении чтения. Метод вызванных потенциалов может помочь понять, как общие, универсальные нейрофизиологические основы развития грамотности, так и уникальные особенности разных языков.

Ключевые слова: развитие грамотности, чтение, опознание ошибок, дислексия, вызванные потенциалы, N170, N400, P600.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках научного проекта № 20-013-00514.

Для цитаты: Ребрейкина А.Б., Ларионова Е.В., Мартынова О.В. Динамика вызванных потенциалов в процессе становления грамотности [Электронный ресурс] // Современная зарубежная психология. 2020. Том 9. № 2. С. 21—33. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090202>

Event-related potentials during literacy

Anna B. Rebreikina

*Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS,
Moscow, Russia,*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5714-2040>, e-mail: anna.rebreikina@gmail.com

Ekaterina V. Larionova

*Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS,
Moscow, Russia,*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3637-1343>, e-mail: larionova.ekaterin@gmail.com

Olga V. Martynova

*Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS,
Moscow, Russia,*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9047-2893>, e-mail: omartynova@ihna.ru

Literacy is a complex and multidimensional phenomenon that has been well studied in psychology and pedagogy. Neurophysiologists try to understand the mechanisms of writing and reading acquisition by analyzing different lin-

guistic processes. In this paper, we review the data that were revealed by using the event-related potentials (ERPs) method in the light of spelling, lexical, semantic and syntactic aspects of literacy, as well as changes in the components of ERPs in children and adults during language acquisition and in dyslexia, the most studied reading disorder. The ERPs method can help to understand both the general, universal neural underpinnings of literacy development and the unique features of different languages.

Keywords: literacy acquisition, reading, error recognition, dyslexia, event related potentials, N170, N400, P600.

Funding: The reported study was funded by Russian Foundation for Basic Research (RFBR), project number 20-013-00514.

For citation: Rebreikina A.B., Larionova E.V. Martynova O.V. Event-related potentials during literacy [Elektronnyi resurs]. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya* = *Journal of Modern Foreign Psychology*, 2020. Vol. 9, no. 2, pp. 21—33. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090202> (In Russ.).

Исследование грамотности представляет особый интерес для психологии развития, потому что обучение чтению и письму тесно взаимосвязаны с навыком овладения языком, формирующимся по мере взросления. В литературе описаны факторы, играющие важную роль в становлении грамотности. Это, прежде всего, определенный уровень развития речевых функций, фонематического анализа и синтеза, а также неречевых психических функций — мышления, внимания, зрительной и слухоречевой памяти [2; 7]. Кроме того, овладение чтением и письмом, как психолингвистический и социально-ориентированный процесс, зависит от социальной среды, социально-экономического статуса, а также от структуры языка, которым овладевает учащийся [29]. В свою очередь, грамотность, т. е. полученные знания и компетентность в чтении и письме, улучшает память, зрительный поиск и пространственный анализ, восприятие и понимание речи [11; 24]. Таким образом, грамотность представляет собой сложный когнитивный домен, связанный с множеством функций, которые включают в себя умение декодировать звуки устной речи в письменные символы и, наоборот, письменные в речевые, с учетом присущих языку правил.

Процесс становления грамотности проходит путь от развернутой системы сознательных действий в начале обучения до автоматизированного способа выполнения более сложного действия. В нейролингвистических исследованиях широко используется метод вызванных потенциалов (ВП), который имеет хорошее временное разрешение и позволяет оценить разные этапы быстро протекающей мозговой активности, связанной с восприятием вербальной информации. Нейрофизиологические корреляты когнитивных процессов, лежащих в основе грамотного письма и чтения, можно оценить, манипулируя теми или иными параметрами стимулов. Так, сравнение слов и наборов символов, псевдослов (бессмысленных слов, составленных в соответствии с нормами языка) и «не слов» (буквенных сочетаний, не свойственных данному языку) помогает оценить низкоуровневые этапы обработки информации, определить компоненты вызванных потенциалов, чувствительные к орфографическим характеристикам, т. е. к зрительному знакомству с написанием букв и

слов, присущих языку. При сопоставлении восприятия слов и псевдослов можно выявить этапы обработки информации, чувствительные к лексическим и семантическим параметрам. Использование словосочетаний и простых предложений в качестве стимулов позволяет оценить семантические и синтаксические процессы, связанные с пониманием.

Однако, несмотря на значительное количество нейрофизиологических исследований, они, как правило, охватывают лишь отдельные аспекты проблемы. В настоящем обзоре мы объединили эти работы и рассмотрели их в контексте формирования орфографических, лексических, семантических и синтаксических уровней восприятия вербальной информации как компонентов грамотности в норме и при нарушениях овладения устной и письменной речью.

Вызванные потенциалы: N170, N400 и поздний позитивный комплекс

В нейролингвистических исследованиях чаще всего упоминаются такие компоненты ВП мозга, как N170, N400 и поздний позитивный комплекс (LPC или P600).

Компонент N170 или N1 — негативное отклонение ВП, наблюдающееся в теменно-затылочных областях в интервале около 150—200 мс после зрительного предъявления стимулов. Этот компонент, прежде всего, связывают с орфографической обработкой, подразумевающей зрительный анализ слова, он зависит от опыта восприятия букв, буквосочетаний и слов [10; 52], т. е. может отражать изменения навыка чтения. Было показано, что компонент N170 чувствителен к смешанному регистру букв в слове, к длине и частоте встречаемости слов [10; 52]. Кроме того, этот компонент отражает и процессы лексической обработки: его амплитуда различается на слова, псевдослова и псевдогомофоны (слова с неправильным написанием, но звучащие как реальные слова) [10; 28; 44].

Компонент N400 — негативная волна ВП, наиболее выраженная в центрально-теменных областях во время обработки письменной и устной вербальной информации [27]. Первоначально компонент N400 был идентифицирован как ответ на семантически неправильные

окончания предложений (например: «Я беру кофе со сливками и собакой») [27]; но позже было показано, что он чувствителен к широкому спектру стимулов и их характеристик, включая согласованность предложений, повторение, семантическое праймирование, лексическую связанность, конкретность, абстрактность, частотность слов и многих других, при этом относительно не чувствителен к физическим изменениям слов без изменения их смысла, например, к изменениям шрифта или регистра [6]. N400 коррелирует с уровнем владения языком, что делает его хорошим инструментом для изучения владения вторым языком у взрослых [17; 18; 30].

N400 часто сопровождается более поздним положительным отклонением ВП с латентностью 500—900 мс, известным как поздний положительный комплекс или поздний положительный компонент (late positive component, LPC или P600). Этот компонент связывают с фонологической обработкой и фонологическими представлениями [54], а также с формированием и сохранением следов памяти для вербальных стимулов [41].

Далее эти компоненты ВП рассмотрены нами в контексте различных уровней восприятия вербальной информации.

Начальный этап обработки вербальной информации

Развитие навыка чтения происходит постепенно: в начале обучения оно является побуквенным, последовательным, а к концу начальной школы (к возрасту 10 лет) обработка печатных слов автоматизируется [10].

Как в отечественной, так и в зарубежной педагогике и психологии в рамках фонетического подхода к обучению чтению на первоначальном этапе основное внимание уделяется процессам более низкого уровня, таким как запоминание названия буквы и развитие фонографических навыков, фонематическое осознание и развитие фонологических навыков, то есть умение выделять в слове отдельные фонемы. Все эти навыки необходимы для формирования устойчивых связей между фонемой и графемой. Постепенно происходит слияние букв в слог, а затем слияние слогов в слово, формируется углубленное понимание отношений между орфографией и фонологией [2].

Развитие зрительной обработки букв и слов находит отражение в изменениях компонента N170. У дошкольников, не знающих буквы, этот компонент имел схожую амплитуду на слова, псевдослова, «не слова», наборы символов и псевдошрифты (символы, похожие на реальные буквы). Различия компонента N170 на эти стимулы были выявлены только у хорошо владеющих буквами дошкольников и детей старше 6,5—7 лет [8; 9; 40; 52] и коррелировали со скоростью чтения и уровнем семантических знаний [36]. Следует отметить, что уже после нескольких часов тренировки нечитающих детей соотносению фонемы с графемой

амплитуда компонента N170 на слова становилась больше, чем на псевдошрифты [10]. Интересно, что у детей 9 и 11 лет, а также у взрослых, разница компонента N170 между словами и символами значима, но меньше, чем у детей 7—8 лет [8; 10]. Есть мнение, что на ранних стадиях развития навыка чтения формируются избыточные нейронные сети, что делает различия между словами и символами более сильными, но по мере повышения эффективности нейронных сетей и тонкой их настройки реакция на различия между стимулами становится менее выраженной [52].

В отличие от эффектов, связанных со зрительным анализом графем, эффекты лексического соответствия языку для компонента N170 отсутствуют у детей 7 лет и даже 9 лет, но появляются в более позднем возрасте [10; 36]. Различия компонента N170 между словами и «не словами», т. е. дифференциация уже не на уровне буквы и символа, а на уровне более крупных элементов слов (типичных и нетипичных для языка буквосочетаний, слогов), появляются к 9 годам [37]. Считается также, что компонент N170 у младших школьников отражает только прелексическую обработку, так как процесс чтения еще недостаточно автоматизирован [28].

Таким образом, после начала обучения чтению довольно быстро возникают изменения компонента ВП N170 при восприятии букв изучаемого языка, при этом развитие автоматизированной зрительной обработки слогов и целых слов продолжается до возраста 9—10 лет.

Обработка лексических единиц

Для автоматизации чтения важно развитие специализированной переработки лексических единиц. Поведенческие исследования показали, что дети 7 лет уже реагируют быстрее и точнее на имеющие смысл (реальные) слова, чем на произносимые псевдослова, представляющие собой простые последовательности согласный-гласный-согласный. Однако только к 9—10 годам дети используют фонологические и орфографические паттерны для различения псевдослов и бессмысленных буквенных строк так же как взрослые. К этому возрасту также формируется автоматизм в лексической обработке [9].

В нейрофизиологических исследованиях было показано, что компонент ВП N400 связан с лексической обработкой. Так, по мнению некоторых авторов, амплитуда N400 отражает легкость или количество усилий, необходимых для интеграции орфографической, фонологической и семантической информации во время лексической обработки [27]. По мнению других авторов, амплитуда N400 отражает непосредственно лексическую обработку [54]. У детей в возрасте 7 лет амплитуда N400 была больше на «не слова», по сравнению со словами, но не псевдословами, в то время как у детей 11 лет, напротив, амплитуда была больше на

слова и псевдослова, что может говорить о более эффективной обработке словоподобных стимулов у последних (тратят меньше ресурсов на стимулы, не похожие на слова) и развитии автоматизации лексической обработки [9]. У детей 9 лет амплитуда компонента N400 отличалась на псевдослова по сравнению со словами [40]. Подобные лексические эффекты, влияющие на N400, обнаруживали и у взрослых при изучении нового языка: было показано, что уже после 14 часов обучения второму языку амплитуда N400 снижена при предъявлении слов по сравнению с псевдословами изучаемого языка [30].

Поздний положительный компонент ВП (LPC) связывают с формированием и сохранением следов памяти для вербальных стимулов, что важно для последующего распознавания слов во время лексической обработки [41]. У детей 8—9 лет LPC не отличался между словами и псевдогомофонами, которые имеют одинаковое фонологическое представление, но его амплитуда была значительно уменьшена для псевдослов, которые отсутствуют в фонологическом лексиконе [40; 54]. Аналогичные закономерности для P600 были получены и у подростков 12—14 лет [33]. Интересно, что повторное предъявление псевдослов у взрослых приводило к увеличению амплитуды LPC и коррелировало с увеличением скорости и точности чтения псевдослов, что авторы связывают с формированием и усилением следов памяти для псевдослов, облегчающих их обработку в процессе выполнения задания [41]. При изучении значений редких слов взрослыми были получены схожие для псевдослов результаты, при этом у более успешных испытуемых амплитуда LPC была больше по сравнению с испытуемыми, демонстрирующими менее успешные навыки; по мнению авторов, лучшие навыки демонстрировали испытуемые с более успешным формированием следов памяти для изучаемых слов [39]. При изучении второго языка псевдослова вызывали повышение амплитуды N400 на ранних стадиях обучения, а компонент P600 изменялся на более поздних этапах, что авторы интерпретируют как переход от лексической обработки вербальной информации к грамматической [18]. Полученные данные свидетельствуют о том, что, вероятно, LPC не связан непосредственно с лексической обработкой, а отражает повторный орфографический анализ и лексический доступ.

Существует предположение, что по мере развития навыка чтения на ранних этапах обработки слов начинает анализироваться и лексическая информация. Так, амплитуда компонента N170 у детей 9—10 лет была больше на «не слова», чем на слова и псевдослова, а у детей 11 лет — на псевдослова, чем на «не слова» и слова [12]. Эти данные были объяснены тем, что у детей 9—10 лет слова и псевдослова еще не дифференцируются на временном интервале около 200 мс, но их обработка происходит легче, чем «не слов», сильно отличающихся от языковых лексических норм. В более старшем возрасте «не слова» распознаются так же

легко и быстро, как слова, а псевдослова требуют больших усилий [12].

Необходимо отметить, что изменения чувствительности компонента N170 к словам и псевдословам может зависеть от типа задачи и инструкции [20].

Таким образом, лексическая обработка и у детей, и у взрослых происходит во временном интервале от 300 до 500 мс, что находит отражение в особенностях компонента N400. У взрослых эти процессы могут проходить на более ранних этапах, о чем свидетельствуют данные о N170, но вероятно, N170 отражает лексическую обработку в зависимости от условий задачи.

Формирование орфографической грамотности

Изучение нейрофизиологических механизмов правописания на примере отслеживания ошибок в западноевропейской группе языков обычно проводят при помощи задач восприятия псевдогомофонов (ПГФ) по сравнению со словами и псевдословами. ПГФ — слова с неправильным написанием, но произносимые как существующие слова. Особенности различных компонентов ВП на эти стимулы у разных возрастных групп позволяют оценить пространственно-временную последовательность механизмов, обеспечивающих правописание.

У взрослых различия в ВП в ответ на слова и ПГФ наблюдались уже через 100 мс после предъявления стимулов: компонент P100 (позитивная волна, предшествующая N170) был выше на слова в правом полушарии, чем на ПГФ [28]. Компонент N170 был более выраженным в ответ на ПГФ, чем на слова и псевдослова, что авторы истолковали как отражение конфликта между фонологической и орфографической информацией [28]. В работе Саусенга [44] слова с измененной буквой, не нарушающей смысл слова, вызывали меньшую амплитуду компонента N160 (вероятно, аналогичного N170), чем обычные слова. Эти различия вызванных потенциалов между стандартными и нарушенными зрительными формами слов свидетельствуют о раннем взаимодействии между воспринимаемой буквенной информацией и хранящимися зрительно-орфографическими репрезентациями слов [44]. Кроме того, при обнаружении слов с ошибками взрослые с высокими навыками правописания показывают билатеральный эффект повышения амплитуды N170, во время как для взрослых с низкими навыками правописания этот эффект ограничивался левым полушарием [16]. По мнению авторов, это двустороннее топографическое распределение может отражать межполушарную кооперацию во время обработки текстов, особенно в таких сложных условиях, как при обнаружении ошибок.

У детей выявление орфографических несоответствий происходит на более поздних этапах обработки информации по сравнению со взрослыми. У детей 9—10 лет LPC выше на правильные слова, чем на ПГФ [37].

Схожие данные получены в другой работе: у детей 9 лет реакции ВП на орфографические нарушения обнаруживались в позднем временном интервале 700—900 мс [40].

Дети 9—10 лет демонстрировали большую лобно-центральную негативность между 200 и 500 мс (вероятно, аналогичную N400) при восприятии слов с ошибками, по сравнению с детьми 7—8 лет, однако различия между правильными словами и словами с ошибками наблюдались после 600 мс (аналогично P600) и только у старшей группы детей: правильные слова вызывали менее позитивный потенциал, чем слова с ошибкой [13]. При исследовании детей 8 лет, но разделенных на две группы на основании качества выполнения теста быстрого наименования (rapid-naming test), в котором необходимо было называть буквы, числа, изображения предметов и цвета, успешно справляющиеся с этим заданием демонстрировали более выраженные различия компонента N380 (аналогичного N400) и последующего положительного компонента (аналогичного LPC) при определении орфографических несоответствий по сравнению с детьми, медленно выполняющими тест наименования. По мнению авторов, эти наблюдения отражают трудности формирования связей между фонологическими и орфографическими характеристиками слов у последних [22].

Таким образом, в зарубежных исследованиях показано, что в процессе формирования орфографической грамотности чувствительность к неправильно написанным словам проявляют поздние компоненты ВП — N400 и следующий за ним LPC. По мере автоматизации навыка чтения появляются более ранние реакции в ВП на орфографические нарушения.

Семантический анализ и понимание синтаксических структур

Первые проявления семантических и синтаксических процессов обнаруживаются еще в младенческом возрасте, задолго до освоения ребенком письма и чтения [21], а по мере совершенствования владения языком слова включаются в более сложные системные отношения.

Семантическую обработку связывают с компонентом N400 [27]. Эффект N400 обнаруживается в различных модальностях и заключается в том, что семантически не подходящие к контексту стимулы вызывают большие отрицательные ответы N400 по сравнению с семантически подходящими; такой контекст может быть задан картинкой, словом, предложением или дискурсом. Эффект N400 не зависит от языка и наблюдается даже в языке жестов [27]. N400 отражает, по меньшей мере, два аспекта: семантическую интеграцию в контекст и доступ к информации в долговременной памяти [32].

Уже в возрасте одного года дети с высоким уровнем словарного запаса демонстрировали эффекты повышения амплитуды N400 при прослушивании знакомых

и незнакомых (бессмысленных для ребенка) слов. Дети в возрасте 2 лет демонстрировали этот эффект на уровне простых предложений с существительными, подходящими и не подходящими по смыслу (например, «кот пьет мяч»), что указывает на то, что уже в младенческом возрасте дети могут семантически интегрировать слова в контекст предложения [21]. Дети в возрасте 5—7 лет демонстрировали эффекты N400 (350—500 мс) для семантически связанных категорий (например, «волк» и «медведь») по сравнению с семантически несвязанными (например, «волк» и «автомобиль») [47]. Схожие данные были получены у дошкольников при предъявлении семантически конгруэнтных и неконгруэнтных (например, «мой отец ест одеяло с яблоком») разговорных предложений [48].

При исследовании испытуемых в возрасте от 7 до 20 лет было показано, что эффекты обнаружения семантического несоответствия N400 более выражены в слуховой модальности по сравнению со зрительной, кроме того, они были больше у детей младшего возраста по сравнению с более старшими подростками [23]. По мнению авторов, это связано с тем, что с возрастом и опытом аномальные окончания предложений более ожидаемы и отражают меньшую зависимость от контекста, это требует меньшей интеграции и приводит к менее выраженным ответам [23]. Полученные результаты согласуются с данными, собранными при изучении овладения вторым языком у взрослых: более опытные и лучше владеющие вторым языком демонстрировали снижение амплитуды N400 по сравнению с менее опытными при предъявлении предложений, связанных по смыслу [17].

LPC также связывают с обнаружением ошибочных семантических структур. Семантические ожидания, основанные на контексте, могут облегчить обработку текста: в естественной (обычной) ситуации чтения дети 11 лет показывали различия LPC на конгруэнтные («небо синее») и неконгруэнтные («небо толстое») утверждения [26]. Схожие данные получены при восприятии детьми осмысленных и бессмысленных фраз: большие значения амплитуды позднего позитивного компонента в лобных областях коры наблюдались при обработке осмысленной фразы [53]. Эффект повышения амплитуды P600 (LPC) у детей 12—13 лет обнаруживался позже при сравнении семантически правильных и похожих на них семантически ошибочных слов, чем при сравнении семантически правильных и не похожих ошибочных слов, что отражает задержку семантической обработки для похожих слов [45]. Вероятно, этот компонент отвечает за нейронные процессы, связанные с извлечением следов памяти и оценкой соответствия. По мнению некоторых авторов, компонент P600 может быть маркером конкуренции между двумя значениями слов и трудности понимания смысла слов [57].

Кроме того, LPC отражает процессы, связанные с обнаружением морфосинтаксических аномалий, менее изученных по сравнению с семантическими. Нейрофизиологические исследования показывают, что

синтаксические знания появляются в возрасте от 2 до 3 лет: ранняя левая передняя негативность (early left anterior negativity, ELAN) и LPC демонстрировали чувствительность к синтаксическим нарушениям [56]. Синтаксические процессы у детей характеризуются индивидуальной изменчивостью, которая связана с развитием когнитивных способностей: например, более раннее начало и более широкое распределение компонента P600 при прослушивании фраз с нарушениями структуры демонстрируют дети 7—9 лет, лучше знающие грамматику, по сравнению со своими менее образованными сверстниками [55]. Эффекты P600 обнаруживаются и у взрослых при предъявлении предложений с нарушениями согласования между существительным и глаголом, однако при увеличении скорости предъявления эти эффекты уменьшались [51].

Таким образом, обнаружение семантических ошибок может проявляться у детей достаточно рано, но зависит от сложности и модальности языковых структур. Процессы, связанные с пониманием синтаксических конструкций, формируются позже, чем семантические.

Общие закономерности изменений компонентов ВП в процессе автоматизации чтения: амплитуда, топография, латентность

По мере развития навыков кодирования и интеграции орфографии и фонологии, чтение требует все меньше усилий, распознавание слов становится все более быстрым и автономным, осуществляется с меньшими затратами когнитивных ресурсов. К среднему школьному возрасту у детей наблюдаются качественные изменения произвольного внимания, осознанного запоминания, овладения аналитической стратегией мышления, что способствует развитию орфографических навыков [1].

Окумура с коллегами выявили, что улучшение навыка чтения в результате краткосрочной фонологической тренировки связано с увеличением амплитуды компонента N170 у подростков 13 лет [38]. У взрослых, по сравнению со старшеклассниками-подростками 15—17 лет, уменьшались амплитуда и латентность компонента N170 [19]. Латентность компонента N170 у детей 8 лет — около 210 мс, но с развитием навыков чтения она уменьшается до 170 мс [52]. Амплитуда компонента N400 также изменяется по мере развития навыка чтения. Так, у первоклассников (возраст около 7 лет), читающих на уровне четвероклассников (возраст около 10 лет), компонент N400 был хорошо выражен на разные словесные и буквенные стимулы, тогда как у плохо читающих первоклассников этот компонент был снижен [9]. У подростков латентность и амплитуда N400 при выполнении сложной семантической задачи практически не отличались от взрослых, но были меньше по сравнению с детьми 7—9 лет [3]. Латентность N400 была меньше у детей 8—10 лет по сравнению с детьми 6—7 лет [34]. В лонгитюдном

исследовании детей дошкольного и младшего школьного возраста было показано, что при овладении навыком чтения, т. е. по мере автоматизации этого процесса, происходит увеличение амплитуды LPC [14]. Латентность LPC также уменьшается с возрастом [53]. Сдвиг латентности компонентов ВП с течением времени отражает все более быструю обработку информации, поскольку нейронные сети, связанные с чтением, постепенно консолидируются посредством процессов развития синаптической эффективности и настройки.

С улучшением качества чтения изменяется и топография различных компонентов ВП. Так, компонент N170 регистрируется при восприятии самых разных зрительных стимулов, однако на напечатанные слова у опытных читателей он больше в левом полушарии, чем в правом [10; 52]. Было выявлено, что его левосторонняя латерализация формируется по мере увеличения стажа чтения: у детей 7 лет компонент N170 двусторонний, а у детей 9 лет имеет левополушарную асимметрию [8]. У дошкольников, хорошо знающих буквы, различия компонента N170 между словами и наборами символов были выявлены только в правом полушарии, что может указывать на начальную специализацию к словам, но, скорее всего, она связана с эффектами визуального знакомства [10; 52]. У детей 8 лет такие различия наблюдались билатерально [52], что предполагает задействование более обширных областей мозга, включая языковые области, но не ограничиваясь ими; такие множественные активации, включая двусторонние затылочно-височные области, могут указывать на отсутствие тонко настроенных процессов распознавания. А у детей 11—12 лет, как и у взрослых, только левое полушарие показало дифференциальные реакции компонента N170 на слова и символы, что связывают с автоматизацией связей между буквами и звуками [52]. В исследовании Саччи было показано, что левосторонняя асимметрия компонента N170 при развитии навыка чтения связана с усилением фонологических способностей [42]. Левосторонняя латерализация N170 развивается у взрослых в процессе изучения нового языка [43]. Эти данные подтверждают гипотезу фонологического картирования, согласно которой левополушарная латерализация для напечатанных слов отражает автоматические связи между левосторонними областями, отвечающими за фонологическую обработку, и затылочно-височными областями, отвечающими за зрительное распознавание [52].

С развитием автоматизации обработки языковой информации связывают смену топографии N400 в школьном возрасте: если у детей 5—6 лет наблюдалось широкое распространение N400 во фронтальных, центрально-теменных и височных областях, то с возрастом топография N400 локализовалась в центрально-теменных областях, что может быть также связано с увеличением по мере взросления словарного запаса [5]. Похожие закономерности в топографии отмечают и для LPC у 12—13-летних детей: этот компонент был более четко

локализован по сравнению с детьми 9 лет [53]. Вместе эти данные показывают, что в более молодом возрасте семантическая обработка относительно медленная и имеет широкое топографическое распределение.

Таким образом, основные общие нейрофизиологические закономерности заключаются в уменьшении латентности и увеличении степени локализации компонентов ВП по мере автоматизации навыка чтения к среднему школьному возрасту.

Нарушения овладения устной и письменной речью

Дислексия характеризуется трудностями формирования навыка чтения и нередко сопровождается проблемами в правописании. Многочисленные нейрофизиологические исследования дислексии показали изменения на самых различных уровнях обработки вербальной информации, а также продемонстрировали возможные механизмы компенсации этих нарушений.

Так, в работах со слуховыми ВП при прослушивании речевых стимулов было показано увеличение латентности ранних компонентов, что, по мнению авторов, говорит о нарушениях фонологической обработки [25]. Ранние компоненты зрительных ВП, отражающие прелексическую орфографическую обработку, также изменены при дислексии. Компоненты P1 (P100) и N1 (или N170) не были чувствительны к контрасту словоподобных стимулов (слова, псевдослова) с «не словами» и символами [15]. У взрослых с дислексией не было эффекта слова—псевдослова в отличие от здоровых взрослых для компонентов P1 и N1 [28].

Исследования более поздних компонентов ВП при дислексии свидетельствуют о недостаточной интеграции орфографической и фонологической информации у этой группы. Было выявлено снижение левосторонней топографии различий компонента N300 (более ранняя негативная волна, чем N400, но также связанная с фонологическим кодированием и интеграцией) между псевдословами и «не словами» [15].

В другой работе при зрительном предъявлении слов после их устного произношения у детей с дислексией наблюдалось снижение, по сравнению с нормой, амплитуды N300 в левом полушарии и ее увеличение в правом [31]. Некоторые авторы сообщают о сохранности компонента N400 и эффекта снижения его амплитуды при повторном предъявлении слов и псевдослов у взрослых с дислексией [35]. Другими авторами было показано увеличение латентности компонента N400 на семантически связанные слова, что говорит о том, что семантическая интеграция требует больше усилий для читателей с дислексией [49]. Некоторые исследователи полагают, что взрослые с дислексией, практически скомпенсировавшие проблемы с чтением, могут опираться не на семантику как таковую, а на морфемы, которые являются наименьшими единицами значения и обеспечивают прямую связь между формой и смыслом: морфологические эффекты прайминга у них

наблюдались около 200 мс, в то время как у контроля — около 400 мс [50].

Иной механизм компенсации нарушения за счет использования семантических характеристик был предложен к обсуждению на основании того, что у студентов с дислексией при восприятии слов с семантически связанной или несвязанной картинкой наблюдался больший компонент N400 и сниженный LPC по сравнению с контролем [46]. У детей с дислексией в подобном задании также наблюдалось снижение амплитуды LPC [14]. Кроме того, у детей с дислексией амплитуда LPC не отличалась для слов, псевдослов и псевдогомофонов, что может указывать на нарушение доступа к фонологическим представлениям [54].

Таким образом, исследования с использованием ВП показывают, что при дислексии нарушаются как ранние этапы, связанные с перцептивным кодированием, так и более поздние, связанные с интеграцией орфографической и фонологической информации.

Необходимо отметить, что по сравнению с дислексией другие нарушения овладения устной и письменной речью, такие как дисграфия, специфическое расстройство речи (specific language impairment, SLI/oral and written language learning disability, OWL LD) остаются практически неизученными. Вместе с тем, с помощью фМРТ показано, что функциональная связность во время выполнения одной и той же орфографической задачи этих диагностических групп и пациентов с дислексией отличается, как и общее количество функциональных связей, что дает основание считать их уникальными диагностическими группами [4]. Вероятно, применение метода ВП при сравнительном изучении этих нарушений пролило бы свет на различия нейрофизиологических механизмов обработки вербальной информации. Такие работы только начинают появляться [37; 40], однако полноценного сравнительного нейрофизиологического исследования этих групп до настоящего времени не проводилось.

Заключение

Осваивая язык, дети и взрослые проходят длинный путь от восприятия вербальной информации, понимания семантических и синтаксических структур к грамотному письму и чтению. Метод вызванных потенциалов предоставляет возможность для изучения механизмов разноуровневых лингвистических процессов. Наиболее изученные компоненты ВП — N170, N400, LPC, отражая различные этапы переработки информации, демонстрируют схожие закономерности в процессе становления грамотности, как у детей, овладевающих родным языком, так и у взрослых при изучении второго языка.

Компонент N170 на начальных этапах изучения языка связан в основном с анализом слова как изображения, отражает орфографическое знакомство с

отдельными буквами и свойственными языку буквосочетаниями. У детей и начинающих осваивать второй язык взрослых обработку лексических единиц отражает более поздний компонент N400, но по мере становления грамотности, на лексические характеристики реагирует и компонент N170 — формируется его левосторонняя асимметрия и уменьшается латентность. Компоненты N400 и LPC детектируют семантические и синтаксические аномалии еще до начала освоения письма и чтения, но отражают эти же процессы и во взрослом возрасте, становясь более локализованными и коротколатентными по мере становления грамотного письма и чтения.

Следует отметить, что метод ВП накладывает некоторые ограничения на используемые парадигмы и затрудняет изучение процесса естественного чтения. Вероятно, поэтому работ, посвященных синтаксическим процессам, с использованием этого метода не так

много. Грамотное письмо и связанные с ним нарушения практически не освещены в нейролингвистических исследованиях, хотя их изучение является перспективным направлением для понимания механизмов овладения письменной речью. Также надо отметить, что совокупность имеющихся данных о связях компонентов ВП с теми или иными процессами обработки вербальной информации создает возможность использования их для разработки диагностических инструментов оценки вероятных причин нарушений развития письма и чтения.

Кроме того, принципы письма и чтения в различных языковых группах отличаются, поэтому специфические особенности конкретного языка могут оставаться нераскрытыми. Метод вызванных потенциалов может помочь понять, как общие, универсальные нейрофизиологические основы развития грамотности, так и уникальные особенности разных языков.

Литература

1. Елецкая О.В. Особенности лексического запаса и лексических операций у школьников с дизорфографией [Электронный ресурс] // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия № 1. Психологические и педагогические науки. 2014. № 2—1. С. 154—159. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-leksicheskogo-zapasa-i-leksicheskikh-operatsiy-u-shkolnikov-s-dizorfofografiy/viewer> (дата обращения: 15.06.2020).
2. Корнев А.Н. Поэтапное формирование оперативных единиц письма и чтения как базовый алгоритм усвоения этих навыков // Нарушения письма и чтения у детей: изучение и коррекция / Под ред. О.А. Величенковой 2019. С. 6—23.
3. A developmental ERP study of verbal and non-verbal semantic processing / A. Cummings [et al.] // Brain Research. 2008. Vol. 1208. P. 137—149. DOI:10.1016/j.brainres.2008.02.015
4. Berninger V.W., Richards T.L., Abbott R.D. Differential diagnosis of dysgraphia, dyslexia, and OWL LD: Behavioral and neuroimaging evidence // Reading and Writing. 2015. Vol. 28. № 8. P. 1119—1153. DOI:10.1007/s11145-015-9565-0
5. Brain activity and language assessment using event-related potentials: Development of a clinical protocol / J.M. Byrne [et al.] // Developmental Medicine and Child Neurology. 1999. Vol. 41. № 11. P. 740—747. DOI:10.1017/S0012162299001504
6. Cheyette S.J., Plaut D.C. Modeling the N400 ERP component as transient semantic over-activation within a neural network model of word comprehension // Cognition. 2017. Vol. 162. P. 153—166. DOI:10.1016/j.cognition.2016.10.016
7. Children learn to read: how visual analysis and mental imagery contribute to the reading performances at different stages of reading acquisition / E. Commodari [et al.] // Journal of Psycholinguistic Research. 2020. Vol. 49. № 1. P. 59—72. DOI:10.1007/s10936-019-09671-w
8. Coarse and fine N1 tuning for print in younger and older Chinese children: Orthography, phonology, or semantics driven? / X. Tong [et al.] // Neuropsychologia. 2016. Vol. 91. P. 109—119. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2016.08.006
9. Coch D. The N400 and the fourth grade shift // Developmental Science. 2015. Vol. 18. № 2. P. 254—269. DOI:10.1111/desc.12212
10. Coch D., Meade G. N1 and P2 to words and wordlike stimuli in late elementary school children and adults // Psychophysiology. 2016. Vol. 53. № 2. P. 115—128. DOI:10.1111/psyp.12567
11. Demoulin C., Kolinsky R. Does learning to read shape verbal working memory? // Psychonomic Bulletin & Review. 2016. Vol. 23. № 3. P. 703—722. DOI:10.3758/s13423-015-0956-7
12. Development of neural specialization for print: Evidence for predictive coding in visual word recognition / J. Zhao [et al.] // PLoS Biology. 2019. Vol. 17. № 10. 17 p. DOI:10.1371/journal.pbio.3000474
13. Development of sensitivity to orthographic errors in children: An event-related potential study / M. Heldmann [et al.] // Neuroscience. 2017. Vol. 358. P. 349—360. DOI:10.1016/j.neuroscience.2017.07.002
14. Does the late positive component reflect successful reading acquisition? A longitudinal ERP study / C. Wachinger [et al.] // NeuroImage: Clinical. 2018. Vol. 17. P. 232—240. DOI:10.1016/j.nicl.2017.10.014
15. Electrophysiological correlates of impaired reading in dyslexic pre-adolescent children / S. Araújo [et al.] // Brain and Cognition. 2012. Vol. 79. № 2. P. 79—88. DOI:10.1016/j.bandc.2012.02.010
16. ERP Effects of Word Exposure and Orthographic Knowledge on Lexical Decisions in Spanish / A.A. González-Garrido [et al.] // Journal of Behavioral and Brain Science. 2015. Vol. 5. № 6. P. 185—193. DOI:10.4236/jbbs.2015.56019

17. ERP indicators of L2 proficiency in word-to-text integration processes / C.L. Yang [et al.] // *Neuropsychologia*. 2018. Vol. 117. P. 287—301. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2018.06.001
18. Event-related Potentials as Metrics of Foreign Language Learning and Loss / L. Osterhout [et al.] // *The Oxford handbook of language attrition* / Eds. M.S. Schmid, B. Köpke. Oxford: Oxford University Press, 2019. P. 403—416.
19. Evidence for developmental changes in the visual word processing network beyond adolescence / S. Brem [et al.] // *Neuroimage*. 2006. Vol. 29. № 3. P. 822—837. DOI:10.1016/j.neuroimage.2005.09.023
20. *Faisca L., Reis A.I.D., Araújo S.* Early brain sensitivity to word frequency and lexicality during reading aloud and implicit reading // *Frontiers in Psychology*. 2019. Vol. 10. Article ID 830. 13 p. DOI:10.3389/fpsyg.2019.00830
21. *Friedrich M., Friederici A.D.* Maturing brain mechanisms and developing behavioral language skills // *Brain and Language*. 2010. Vol. 114. № 2. P. 66—71. DOI:10.1016/j.bandl.2009.07.004
22. *Gómez-Velázquez F.R., González-Garrido A.A., Vega-Gutiérrez O.L.* Naming abilities and orthographic recognition during childhood an event-related brain potentials study // *International Journal of Psychological Studies*. 2013. Vol. 5. № 1. P. 55—68. DOI:10.5539/ijps.v5n1p55
23. *Holcomb P.J., Coffey S.A., Neville H.J.* Visual and auditory sentence processing: A developmental analysis using event-related brain potentials // *Developmental Neuropsychology*. 1992. Vol. 8. № 2—3. P. 203—241. DOI:10.1080/87565649209540525
24. *Huettig F., Pickering M.J.* Literacy advantages beyond reading: Prediction of spoken language // *Trends in Cognitive Sciences*. 2019. Vol. 23. № 6. P. 464—475. DOI:10.1016/j.tics.2019.03.008
25. Impaired neural mechanism for online novel word acquisition in dyslexic children / L. Kimppa [et al.] // *Scientific Reports*. 2018. Vol. 8. № 1. P. 1—12. DOI:10.1038/s41598-018-31211-0
26. Impaired semantic processing during sentence reading in children with dyslexia: combined fMRI and ERP evidence / E. Schulz [et al.] // *Neuroimage*. 2008. Vol. 41. № 1. P. 153—168. DOI:10.1016/j.neuroimage.2008.02.012
27. *Kutas M., Federmeier K.D.* Thirty years and counting: finding meaning in the N400 component of the event-related brain potential (ERP) // *Annual Review of Psychology*. 2011. Vol. 62. P. 621—647. DOI:10.1146/annurev.psych.093008.131123
28. Lexical and sublexical orthographic processing: An ERP study with skilled and dyslexic adult readers / S. Araújo [et al.] // *Brain and Language*. 2015. Vol. 141. P. 16—27. DOI:10.1016/j.bandl.2014.11.007
29. Lifewide learning for early reading development / A.J. Dowd [et al.] // *New Directions for Child and Adolescent Development*. 2017. Vol. 2017. № 155. P. 31—49. DOI:10.1002/cad.20193
30. *McLaughlin J., Osterhout L., Kim A.* Neural correlates of second-language word learning: Minimal instruction produces rapid change // *Nature Neuroscience*. 2004. Vol. 7. № 7. P. 703—704. DOI:10.1038/nrn1264
31. N300 indexes deficient integration of orthographic and phonological representations in children with dyslexia / S. Hasko [et al.] // *Neuropsychologia*. 2012. Vol. 50. № 5. P. 640—654. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2012.01.001
32. N400 analysis of semantic processing in children aged zero to six years: a literature review / T.A. Lindau [et al.] // *Revista CEFAC: Atualizacao Cientifica em Fonoaudiologia e Educacao*. 2017. Vol. 19. № 5. P. 690—702. DOI:10.1590/1982-0216201719513517
33. N400 and P600 effect of chinese words recognition / E. Wang [et al.] // *NeuroQuantology*. 2017. Vol. 15. № 4. P. 76—83. DOI:10.14704/nq.2017.15.4.1172
34. Neural processes associated with vocabulary and vowel-length differences in a dialect: An ERP study in pre-literate children / J.C. Bühler [et al.] // *Brain Topography*. 2017. Vol. 30. № 5. P. 610—628. DOI:10.1007/s10548-017-0562-2
35. Neural processing of spoken words in specific language impairment and dyslexia / P. Helenius [et al.] // *Brain*. 2009. Vol. 132. № 7. P. 1918—1927. DOI:10.1093/brain/awp134
36. Neurocognitive mechanisms of learning to read: print tuning in beginning readers related to word-reading fluency and semantics but not phonology / A.K. Eberhard-Moscicka [et al.] // *Developmental Science*. 2015. Vol. 18. № 1. P. 106—118. DOI:10.1111/desc.12189
37. Neurophysiological correlates of word processing deficits in isolated reading and isolated spelling disorders / S. Bakos [et al.] // *Clinical Neurophysiology*. 2018. Vol. 129. № 3. P. 526—540. DOI:10.1016/j.clinph.2017.12.010
38. *Okumura Y., Kita Y., Inagaki M.* Pure and short-term phonics-training improves reading and print-specific ERP in English: A case study of a Japanese middle school girl // *Developmental Neuropsychology*. 2017. Vol. 42. № 4. P. 265—275. DOI:10.1080/87565641.2017.1334784
39. *Perfetti C.A., Wlotko E.W., Hart L.A.* Word learning and individual differences in word learning reflected in event-related potentials // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 2005. Vol. 31. № 6. P. 1281—1292. DOI:10.1037/0278-7393.31.6.1281
40. Print-, sublexical and lexical processing in children with reading and/or spelling deficits: an ERP study / F. Kemény [et al.] // *International Journal of Psychophysiology*. 2018. Vol. 130. P. 53—62. DOI:10.1016/j.ijpsycho.2018.05.009
41. Repeated exposure to “meaningless” pseudowords modulates LPC, but not N (FN) 400 / B. Bermúdez-Margaretto [et al.] // *Brain Topography*. 2015. Vol. 28. № 6. P. 838—851. DOI:10.1007/s10548-014-0403-5
42. *Sacchi E., Laszlo S.* An event-related potential study of the relationship between N170 lateralization and phonological awareness in developing readers // *Neuropsychologia*. 2016. Vol. 91. P. 415—425. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2016.09.001

43. *Sánchez-Vincitore L.V., Avery T., Froud K.* Word-related N170 responses to implicit and explicit reading tasks in neoliterate adults // *International Journal of Behavioral Development*. 2018. Vol. 42. № 3. P. 321—332. DOI:10.1177/0165025417714063
44. *Sauseng P., Bergmann J., Wimmer H.* When does the brain register deviances from standard word spellings? — An ERP study // *Cognitive Brain Research*. 2004. Vol. 20. № 3. P. 529—532. DOI:10.1016/j.cogbrainres.2004.04.008
45. Semantic anomaly detection in school-aged children during natural sentence reading — A study of fixation-related brain potentials / O. Loberg [et al.] // *PloS One*. 2018. Vol. 13. № 12. 27 p. DOI:10.1371/journal.pone.0209741
46. Semantic compensation and novel word learning in university students with dyslexia / M. Rasamimanana [et al.] // *Neuropsychologia*. 2020. Vol. 139. 13 p. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2020.107358
47. Semantic processing in deaf and hard-of-hearing children: Large N400 mismatch effects in brain responses, despite poor semantic ability / P. Kallioinen [et al.] // *Frontiers in Psychology*. 2016. Vol. 7. Article ID 1146. 10 p. DOI:10.3389/fpsyg.2016.01146
48. Semantic processing of sentences in preschoolers with specific language impairment: Evidence from the N400 effect / J. Pijnacker [et al.] // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2017. Vol. 60. № 3. P. 627—639. DOI:10.1044/2016_JSLHR-L-15-0299
49. Semantic, syntactic, and phonological processing of written words in adult developmental dyslexic readers: an event-related brain potential study / J. Rüsseler [et al.] // *BMC Neuroscience*. 2007. Vol. 8. № 52. 10 p. DOI:10.1186/1471-2202-8-52
50. Spatiotemporal reorganization of the reading network in adult dyslexia / E. Cavalli [et al.] // *Cortex*. 2017. Vol. 92. P. 204—221. DOI:10.1016/j.cortex.2017.04.012
51. *Tanner D., Grey S., van Hell J.G.* Dissociating retrieval interference and reanalysis in the P600 during sentence comprehension // *Psychophysiology*. 2017. Vol. 54. № 2. P. 248—259. DOI:10.1111/psyp.12788
52. The development of print tuning in children with dyslexia: Evidence from longitudinal ERP data supported by fMRI / U. Maurer [et al.] // *Neuroimage*. 2011. Vol. 57. № 3. P. 714—722. DOI:10.1016/j.neuroimage.2010.10.055
53. The Development of Words and Sentences Processing: ERP Study in 9-13 Years Old Children [Электронный ресурс] / E.I. Galperina [et al.] // *Neurobiology of Speech and Language. Proceedings of the 2nd International Workshop «Neurobiology of Speech and Language»*. The Laboratory of Behavioural Neurodynamics, Saint Petersburg State University / Eds. O. Shcherbakova, Y. Shtyrov. St. Petersburg: Scythia-print, 2018. 64 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36656783&> (дата обращения: 15.06.2020).
54. The time course of reading processes in children with and without dyslexia: an ERP study / S. Hasko [et al.] // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2013. Vol. 7. Article ID 570. 19 p. DOI:10.3389/fnhum.2013.00570
55. *Wray A.H., Weber-Fox C.* Specific aspects of cognitive and language proficiency account for variability in neural indices of semantic and syntactic processing in children // *Developmental Cognitive Neuroscience*. 2013. Vol. 5. P. 149—171. DOI:10.1016/j.dcn.2013.03.002
56. Young children's sentence comprehension: Neural correlates of syntax-semantic competition / A. Strotseva-Feinschmidt [et al.] // *Brain and cognition*. 2019. Vol. 134. P. 110—121. DOI:10.1016/j.bandc.2018.09.003
57. *Yurchenko A., Lopukhina A., Dragoy O.* Meaning relatedness in polysemous and homonymous words: an ERP study in Russian: basic research program working papers. Higher School of Economics Research Paper No. WP BRP. Moscow: National Research University Higher School of Economics, 2018. Vol. 67. 15 p. DOI:10.2139/ssrn.3291173

References

1. Eletsкая O.V. Osobennosti leksicheskogo zapasa i leksicheskikh operatsii u shkol'nikov s dizorfografiy = [Peculiarities of the lexical stock and lexical operations in schoolchildren with dysorphography] [Elektronnyi resurs]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta. Seriya № 1. Psikhologicheskie i pedagogicheskie nauki = [Bulletin of the Perm State Humanitarian and Pedagogical University. Series No. 1. Psychological and pedagogical sciences]*, 2014, no. 2—1, pp. 154—159. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-leksicheskogo-zapasa-i-leksicheskikh-operatsiy-u-shkolnikov-s-dizorfografiy/viewer> (Accessed 15.06.2020). (In Russ.).
2. Kornev A.N. Poetapnoe formirovanie operativnykh edinit pis'ma i chteniya kak bazovyi algoritm usvoeniya etikh navykov = [The phased formation of operational units of writing and reading as a basic algorithm for mastering these skills]. In Velichenkovi O.A. (eds.), *Narusheniya pis'ma i chteniya u detei: izuchenie i korrektsiya = [Disorders of writing and reading in children: study and correction]*, 2019, pp. 6—23. (In Russ.).
3. Cummings A. et al. A developmental ERP study of verbal and non-verbal semantic processing. *Brain Research*, 2008. Vol. 1208, pp. 137—149. DOI:10.1016/j.brainres.2008.02.015
4. Berninger V.W., Richards T.L., Abbott R.D. Differential diagnosis of dysgraphia, dyslexia, and OWL LD: Behavioral and neuroimaging evidence. *Reading and Writing*, 2015. Vol. 28, no. 8, pp. 1119—1153. DOI:10.1007/s11145-015-9565-0
5. Byrne J.M. et al. Brain activity and language assessment using event-related potentials: Development of a clinical protocol. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 1999. Vol. 41, no. 11, pp. 740—747. DOI:10.1017/S0012162299001504
6. Cheyette S.J., Plaut D.C. Modeling the N400 ERP component as transient semantic over-activation within a neural network model of word comprehension. *Cognition*, 2017. Vol. 162, pp. 153—166. DOI:10.1016/j.cognition.2016.10.016

7. Commodari E. et al. Children learn to read: how visual analysis and mental imagery contribute to the reading performances at different stages of reading acquisition. *Journal of Psycholinguistic Research*, 2020. Vol. 49, no. 1, pp. 59—72. DOI:10.1007/s10936-019-09671-w
8. Tong X. et al. Coarse and fine N1 tuning for print in younger and older Chinese children: Orthography, phonology, or semantics driven? *Neuropsychologia*, 2016. Vol. 91, pp. 109—119. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2016.08.006
9. Coch D. The N400 and the fourth grade shift. *Developmental science*, 2015. Vol. 18, no. 2, pp. 254—269. DOI:10.1111/desc.12212
10. Coch D., Meade G. N1 and P2 to words and wordlike stimuli in late elementary school children and adults. *Psychophysiology*, 2016. Vol. 53, no. 2, pp. 115—128. DOI:10.1111/psyp.12567
11. Demoulin C., Kolinsky R. Does learning to read shape verbal working memory? *Psychonomic bulletin & review*, 2016. Vol. 23, no. 3, pp. 703—722. DOI:10.3758/s13423-015-0956-7
12. Zhao J. et al. Development of neural specialization for print: Evidence for predictive coding in visual word recognition. *PLoS biology*, 2019. Vol. 17, no. 10, 17 p. DOI:10.1371/journal.pbio.3000474
13. Heldmann M. et al. Development of sensitivity to orthographic errors in children: An event-related potential study. *Neuroscience*, 2017. Vol. 358, pp. 349—360. DOI:10.1016/j.neuroscience.2017.07.002
14. Wachinger C. et al. Does the late positive component reflect successful reading acquisition? A longitudinal ERP study. *NeuroImage: Clinical*, 2018. Vol. 17, pp. 232—240. DOI:10.1016/j.nicl.2017.10.014
15. Araújo S. et al. Electrophysiological correlates of impaired reading in dyslexic pre-adolescent children. *Brain and cognition*, 2012. Vol. 79, no. 2, pp. 79—88. DOI:10.1016/j.bandc.2012.02.010
16. González-Garrido A.A. et al. ERP Effects of Word Exposure and Orthographic Knowledge on Lexical Decisions in Spanish. *Journal of Behavioral and Brain Science*, 2015. Vol. 5, no. 6, pp. 185—193. DOI:10.4236/jbbs.2015.56019
17. Yang C.L. et al. ERP indicators of L2 proficiency in word-to-text integration processes. *Neuropsychologia*, 2018. Vol. 117, pp. 287—301. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2018.06.001
18. Osterhout L. et al. Event-related Potentials as Metrics of Foreign Language Learning and Loss. In Schmid M.S., Köpke B. (eds.), *The Oxford handbook of language attrition*. Oxford: Oxford University Press, 2019, pp. 403—416.
19. Brem S. et al. Evidence for developmental changes in the visual word processing network beyond adolescence. *Neuroimage*, 2006. Vol. 29, no. 3, pp. 822—837. DOI:10.1016/j.neuroimage.2005.09.023
20. Faisca L., Reis A.I.D., Araújo S. Early brain sensitivity to word frequency and lexicality during reading aloud and implicit reading. *Frontiers in Psychology*, 2019. Vol. 10, article ID 830, 13 p. DOI:10.3389/fpsyg.2019.00830
21. Friedrich M., Friederici A.D. Maturing brain mechanisms and developing behavioral language skills. *Brain and Language*, 2010. Vol. 114, no. 2, pp. 66—71. DOI:10.1016/j.bandl.2009.07.004
22. Gómez-Velázquez F.R., González-Garrido A.A., Vega-Gutiérrez O.L. Naming abilities and orthographic recognition during childhood an event-related brain potentials study. *International Journal of Psychological Studies*, 2013. Vol. 5, no. 1, pp. 55—68. DOI:10.5539/ijps.v5n1p55
23. Holcomb P.J., Coffey S.A., Neville H.J. Visual and auditory sentence processing: A developmental analysis using event-related brain potentials. *Developmental Neuropsychology*, 1992. Vol. 8, no. 2—3, pp. 203—241. DOI:10.1080/87565649209540525
24. Huettig F., Pickering M.J. Literacy advantages beyond reading: Prediction of spoken language. *Trends in cognitive sciences*, 2019. Vol. 23, no. 6, pp. 464—475. DOI:10.1016/j.tics.2019.03.008
25. Kimppa L. et al. Impaired neural mechanism for online novel word acquisition in dyslexic children. *Scientific reports*, 2018. Vol. 8, no. 1, pp. 1—12. DOI:10.1038/s41598-018-31211-0
26. Schulz E. et al. Impaired semantic processing during sentence reading in children with dyslexia: combined fMRI and ERP evidence. *Neuroimage*, 2008. Vol. 41, no. 1, pp. 153—168. DOI:10.1016/j.neuroimage.2008.02.012
27. Kutas M., Federmeier K.D. Thirty years and counting: finding meaning in the N400 component of the event-related brain potential (ERP). *Annual review of psychology*, 2011. Vol. 62, pp. 621—647. DOI:10.1146/annurev.psych.093008.131123
28. Araújo S. et al. Lexical and sublexical orthographic processing: An ERP study with skilled and dyslexic adult readers. *Brain and Language*, 2015. Vol. 141, pp. 16—27. DOI:10.1016/j.bandl.2014.11.007
29. Dowd A.J. et al. Lifewide learning for early reading development. *New directions for child and adolescent development*, 2017. Vol. 2017, no. 155, pp. 31—49. DOI:10.1002/cad.20193
30. McLaughlin J., Osterhout L., Kim A. Neural correlates of second-language word learning: Minimal instruction produces rapid change. *Nature neuroscience*, 2004. Vol. 7, no. 7, pp. 703—704. DOI:10.1038/nn1264
31. Hasko S. et al. N300 indexes deficient integration of orthographic and phonological representations in children with dyslexia. *Neuropsychologia*, 2012. Vol. 50, no. 5, pp. 640—654. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2012.01.001
32. Lindau T.A. et al. N400 analysis of semantic processing in children aged zero to six years: a literature review. *Revista CEFAC: Atualizacao Cientifica em Fonoaudiologia e Educacao*, 2017. Vol. 19, no. 5, pp. 690—702. DOI:10.1590/1982-0216201719513517
33. Wang E. et al. N400 and P600 effect of chinese words recognition. *NeuroQuantology*, 2017. Vol. 15, no. 4, pp. 76—83. DOI:10.14704/nq.2017.15.4.1172

34. Bühler J.C. et al. Neural processes associated with vocabulary and vowel-length differences in a dialect: An ERP study in pre-literate children. *Brain topography*, 2017. Vol. 30, no. 5, pp. 610—628. DOI:10.1007/s10548-017-0562-2
35. Helenius P. et al. Neural processing of spoken words in specific language impairment and dyslexia. *Brain*, 2009. Vol. 132, no. 7, pp. 1918—1927. DOI:10.1093/brain/awp134
36. Eberhard-Moscicka A.K. et al. Neurocognitive mechanisms of learning to read: print tuning in beginning readers related to word-reading fluency and semantics but not phonology. *Developmental science*, 2015. Vol. 18, no. 1, pp. 106—118. DOI:10.1111/desc.12189
37. Bakos S. et al. Neurophysiological correlates of word processing deficits in isolated reading and isolated spelling disorders. *Clinical Neurophysiology*, 2018. Vol. 129, no. 3, pp. 526—540. DOI:10.1016/j.clinph.2017.12.010
38. Okumura Y., Kita Y., Inagaki M. Pure and short-term phonics-training improves reading and print-specific ERP in English: A case study of a Japanese middle school girl. *Developmental neuropsychology*, 2017. Vol. 42, no. 4, pp. 265—275. DOI:10.1080/87565641.2017.1334784
39. Perfetti C.A., Wlotko E.W., Hart L.A. Word learning and individual differences in word learning reflected in event-related potentials. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 2005. Vol. 31, no. 6, pp. 1281—1292. DOI:10.1037/0278-7393.31.6.1281
40. Kemény F. et al. Print-, sublexical and lexical processing in children with reading and/or spelling deficits: an ERP study. *International Journal of Psychophysiology*, 2018. Vol. 130, pp. 53—62. DOI:10.1016/j.ijpsycho.2018.05.009
41. Bermúdez-Margaretto B. et al. Repeated exposure to “meaningless” pseudowords modulates LPC, but not N (FN) 400. *Brain topography*, 2015. Vol. 28, no. 6, pp. 838—851. DOI:10.1007/s10548-014-0403-5
42. Sacchi E., Laszlo S. An event-related potential study of the relationship between N170 lateralization and phonological awareness in developing readers. *Neuropsychologia*, 2016. Vol. 91, pp. 415—425. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2016.09.001
43. Sánchez-Vincitore L.V., Avery T., Froud K. Word-related N170 responses to implicit and explicit reading tasks in neoliterate adults. *International Journal of Behavioral Development*, 2018. Vol. 42, no. 3, pp. 321—332. DOI:10.1177/0165025417714063
44. Sauseng P., Bergmann J., Wimmer H. When does the brain register deviances from standard word spellings? — An ERP study. *Cognitive Brain Research*, 2004. Vol. 20, no. 3, pp. 529—532. DOI:10.1016/j.cogbrainres.2004.04.008
45. Loberg O. et al. Semantic anomaly detection in school-aged children during natural sentence reading—A study of fixation-related brain potentials. *PloS one*, 2018. Vol. 13, no. 12, 27 p. DOI:10.1371/journal.pone.0209741
46. Rasamimanana M. et al. Semantic compensation and novel word learning in university students with dyslexia. *Neuropsychologia*, 2020. Vol. 139, 13 p. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2020.107358
47. Kallioinen P. et al. Semantic processing in deaf and hard-of-hearing children: Large N400 mismatch effects in brain responses, despite poor semantic ability. *Frontiers in psychology*, 2016. Vol. 7, article ID 1146, 10 p. DOI:10.3389/fpsyg.2016.01146
48. Pijnacker J. et al. Semantic processing of sentences in preschoolers with specific language impairment: Evidence from the N400 effect. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 2017. Vol. 60, no. 3, pp. 627—639. DOI:10.1044/2016_JSLHR-L-15-0299
49. Rüsseler J. et al. Semantic, syntactic, and phonological processing of written words in adult developmental dyslexic readers: an event-related brain potential study. *BMC neuroscience*, 2007. Vol. 8, no. 52, 10 p. DOI:10.1186/1471-2202-8-52
50. Cavalli E. et al. Spatiotemporal reorganization of the reading network in adult dyslexia. *Cortex*, 2017. Vol. 92, pp. 204—221. DOI:10.1016/j.cortex.2017.04.012
51. Tanner D., Grey S., van Hell J.G. Dissociating retrieval interference and reanalysis in the P600 during sentence comprehension. *Psychophysiology*, 2017. Vol. 54, no. 2, pp. 248—259. DOI:10.1111/psyp.12788
52. Maurer U. et al. The development of print tuning in children with dyslexia: Evidence from longitudinal ERP data supported by fMRI. *Neuroimage*, 2011. Vol. 57, no. 3, pp. 714—722. DOI:10.1016/j.neuroimage.2010.10.055
53. Galperina E.I. et al. The Development of Words and Sentences Processing: ERP Study in 9-13 Years Old Children [Elektronnyi resurs]. In Shcherbakova O., Shtyrov Y. (eds.), *Neurobiology of Speech and Language. Proceedings of the 2nd International Workshop «Neurobiology of Speech and Language». The Laboratory of Behavioural Neurodynamics, Saint Petersburg State University*. St. Petersburg: Scythia-print, 2018, 64 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36656783> (Accessed 15.06.2020).
54. Hasko S. et al. The time course of reading processes in children with and without dyslexia: an ERP study. *Frontiers in human neuroscience*, 2013. Vol. 7, article ID 570, 19 p. DOI:10.3389/fnhum.2013.00570
55. Wray A.H., Weber-Fox C. Specific aspects of cognitive and language proficiency account for variability in neural indices of semantic and syntactic processing in children. *Developmental cognitive neuroscience*, 2013. Vol. 5, pp. 149—171. DOI:10.1016/j.dcn.2013.03.002
56. Strotseva-Feinschmidt A. et al. Young children’s sentence comprehension: Neural correlates of syntax-semantic competition. *Brain and cognition*, 2019. Vol. 134, pp. 110—121. DOI:10.1016/j.bandc.2018.09.003
57. Yurchenko A., Lopukhina A., Dragoy O. Meaning relatedness in polysemous and homonymous words: an ERP study in Russian: basic research program working papers. Higher School of Economics Research Paper No. WP BRP. Moscow: National Research University Higher School of Economics, 2018. Vol. 67, 15 p. DOI:10.2139/ssrn.3291173

Информация об авторах

Ребрейкина Анна Борисовна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, лаборатория высшей нервной деятельности человека, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук (ИНВД и НФ РАН), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5714-2040>, e-mail: anna.rebreikina@gmail.com

Ларионова Екатерина Владимировна, младший научный сотрудник лаборатории высшей нервной деятельности человека, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук (ИНВД и НФ РАН), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3637-1343>, e-mail: larionova.ekaterin@gmail.com

Мартынова Ольга Владимировна, доктор философских наук, Заведующая лабораторией высшей нервной деятельности человека, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук (ИНВД и НФ РАН), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9047-2893>, e-mail: omartynova@ihna.ru

Information about the authors

Anna B. Rebreikina, PhD in Biology, Researcher, Laboratory of Human Higher Nervous Activity, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, Moscow, Russia, anna.rebreikina@gmail.com

Ekaterina V. Larionova, Junior Researcher, Laboratory of Human Higher Nervous Activity, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, Moscow, Russia, larionova.ekaterin@gmail.com

Olga V. Martynova, Doctor of Philosophy, Head of the Laboratory, Laboratory of Human Higher Nervous Activity, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9047-2893>, e-mail: omartynova@ihna.ru

Получена 01.04.2020

Принята в печать 16.06.2020

Received 01.04.2020

Accepted 16.06.2020

Компоненты вызванного потенциала в исследовании перцептивного научения

Клеева Д.Ф.

*Научно-технологический университет «Сириус», г. Сочи, Российская Федерация; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6040-2154>, e-mail: dkleeva@gmail.com*

Ребрейкина А.Б.

*Научно-технологический университет «Сириус», г. Сочи, Российская Федерация; Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук (ИВНД и НФ РАН), г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5714-2040>, e-mail: anna.rebreikina@gmail.com*

Сысоева О.В.

*Научно-технологический университет «Сириус», г. Сочи, Российская Федерация; Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук (ИВНД и НФ РАН), г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4005-9512>, e-mail: olga.v.sysoeva@gmail.com*

Перцептивное научение определяется как повышение эффективности выполнения перцептивных задач в результате накопления опыта или тренировок. Данный обзор посвящен анализу изменений компонентов вызванных потенциалов (ВП) после зрительного и слухового перцептивного обучения у человека. Применение метода ЭЭГ, имеющего высокое временное разрешение, позволяет проследить пространственно-временную динамику изменений работы мозга при научении, остающуюся за кадром поведенческих экспериментальных исследований. Проведенный обзор нейрофизиологических исследований свидетельствует об изменениях на всех уровнях сенсорного анализатора при перцептивном научении, начиная с ранних сенсорных компонентов ВП (С1) и заканчивая более поздними интегративными компонентами (N170, MMN, P2). Также проанализированы краткосрочные и долгосрочные эффекты научения. Нейрофизиологические данные, рассмотренные в обзоре, могут служить доказательной основой для разработки новых подходов к созданию эффективных методик обучения, а также объективной оценки уже существующих практик посредством выявления динамики нервных процессов на определенных этапах обработки стимула.

Ключевые слова: перцептивное научение, вызванные потенциалы, N1, N170, MMN, P2, музыкальная компетентность.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках научного проекта № 19-313-51039.

Для цитаты: Клеева Д.Ф., Ребрейкина А.Б., Сысоева О.В. Компоненты вызванного потенциала в исследовании перцептивного научения [Электронный ресурс] // Современная зарубежная психология. 2020. Том 9. № 2. С. 34—45. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090203>

Components of Event-Related Potentials in studies of perceptual learning

Daria F. Kleeva

*Sirius University of Science and Technology, Sochi, Russia;
National Research University «Higher School of Economics», Moscow, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6040-2154>, e-mail: dkleeva@gmail.com*

Anna B. Rebreikina

*Sirius University of Science and Technology, Sochi, Russia;
Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, Moscow, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5714-2040>, e-mail: anna.rebreikina@gmail.com*

Olga V. Sysoeva

*Sirius University of Science and Technology, Sochi, Russia;
Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, Moscow, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4005-9512>, e-mail: olga.v.sysoeva@gmail.com*

Perceptual learning is defined by increased effectiveness of completing perceptual tasks as a result of experience or training. This review presents the analysis of changes in the components of event-related potentials (ERPs) after visual and auditory perceptual learning in humans. The use of the EEG method, which has a high temporal resolution, makes it possible to trace the spatio-temporal dynamics of changes in the functioning of the brain during learning, which remains hidden in behavioral experimental studies. A review of neurophysiological studies indicates that perceptual learning induces changes across all levels of cortical hierarchy, starting with the early sensory components of ERPs (C1) and ending with the later integrative components (N170, MMN, P2). We also analyzed the short-term and long-term effects of learning. The reviewed neurophysiological data can serve as the basis for the development of new approaches of effective learning, as well as for the objective evaluation of existing methodics by assessing neuronal dynamics at different stages of stimuli processing.

Keywords: perceptual learning, event-related potentials, N1, N170, MMN, P2, expertise.

Funding: The reported study was funded by Russian Foundation for Basic Research (RFBR), project number 19-313-51039.

For citation: Kleeва D.F. Rebreikina A.B., Sysoeva O.V. Components of Event-Related Potentials in studies of perceptual learning [Elektronnyi resurs]. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya = Journal of Modern Foreign Psychology*, 2020. Vol. 9, no. 2, pp. 34—45. DOI:<https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090203> (In Russ.).

Введение

Проблема усвоения новой информации и навыков — научения — актуальна для специалистов множества различных направлений деятельности: общественных наук, педагогики, психологии, молекулярной биологии, искусственного интеллекта. Почему в одном случае мы учимся быстро и непроизвольно, а научение иным навыкам требует времени и упорства? Как организовать обучение наиболее эффективным и экономичным с точки зрения расхода когнитивных ресурсов образом? Чтобы ответить на эти вопросы, необходимо понимание нейрофизиологических процессов, лежащих в основе научения. Методы электроэнцефалографии позволяют объективно оценить пространственно-временную динамику изменений работы мозга в результате научения, пролить свет на его нейрофизиологические механизмы.

Перцептивное научение определяется как повышение эффективности выполнения перцептивных задач в результате накопления опыта или тренировок. Этот тип научения лежит в основе таких более высокоуровневых процессов, как перцептивная категоризация и обнаружение девиантных стимулов. Нейрофизиологические данные, представленные в обзоре, свидетельствуют, что именно на примере перцептивного научения возможно проиллюстрировать, как научение меняет наше восприятие и самые ранние этапы обработки информации. Нейрофизиологические данные позволяют ученым составить представление об имплицитных и эксплицитных составляющих научения, а также о происходящих при этом краткосрочных и долгосрочных изменениях в работе мозга. Эти положения, в свою очередь, могут служить доказательной основой для создания новых подходов к разработке более эффективных методик обучения.

В качестве нейрофизиологических маркеров перцептивного научения в данном обзоре рассматриваются компоненты вызванных потенциалов (ВП) электроэнцефалограммы (ЭЭГ) или магнитоэнцефалограммы

(МЭГ). Эти неинвазивные методы позволяют регистрировать спонтанную и вызванную мозговую активность с высоким временным разрешением, что открывает широкие возможности для изучения нейрональных процессов, лежащих в основе сложных когнитивных операций. В основе метода ВП лежит процедура усреднения сигналов, возникающих в ответ на многократные предъявления изучаемого стимула. Стандартные компоненты вызванных потенциалов характеризуются локализацией, латентностью и амплитудой и соответствуют отдельным этапам обработки информации мозгом, протекающим в первые десятки и сотни миллисекунд после предъявления стимула.

Процесс перцептивного научения может происходить как естественным образом — под воздействием накапливаемого перцептивного опыта, что позволяет сопоставлять показатели экспертов и новичков в какой-либо области, — так и в лабораторных условиях, где испытуемых тренируют на умение различать или классифицировать ранее не различимые сигналы. В большинстве случаев тренировка осуществляется с использованием внешнего подкрепления и обратной связи. Обычно нейрофизиологические эффекты научения изучаются посредством простых парадигм нейровизуализации (например, сравнения ВП на «выученные» и «невыученные» стимулы) и сопоставляются с поведенческими эффектами научения (например, точностью распознавания и временем ответа, необходимым для выполнения задания).

В данном обзоре мы проанализировали изменения компонентов вызванных потенциалов (ВП), регистрируемых в первые 250 мс после предъявления стимула, чтобы проследить воздействие перцептивного обучения на ранние этапы обработки информации мозгом. Мы рассмотрели особенности краткосрочных и долгосрочных изменений компонентов ВП при перцептивном научении на примере зрительной и слуховой модальностей как наиболее исследованных на поведенческом и нейрофизиологическом уровнях.

1. Зрительное перцептивное научение

Компонент С1

Многочисленные поведенческие исследования показали, что одним из свойств перцептивного научения является его специфичность по отношению к обучаемому стимулу [40]. Этот вопрос был в большей степени исследован в зрительной модальности. Так, например, было показано, что при обучении различению ориентации линий в одном зрительном полуполе эффект не переносился на линии, предъявляемые в другом зрительном полуполе [40]. Однако недавние исследования показали возможность переноса научения на другие стимулы и модальности в определенных условиях [14]. Вопрос о специфичности перцептивного научения напрямую связан с тем, на каком уровне в мозговой организации зрительного анализатора происходят изменения в репрезентации стимула после обучения. Современные нейрофизиологические исследования помогают в поиске ответа на этот вопрос.

Самым ранним компонентом зрительного ВП является компонент С1, возникающий в период 65—90 мс после предъявления стимула. Характерной особенностью данного компонента является то, что он меняет свою полярность в зависимости от того, в какое зрительное полуполе предъявляется стимул (верхнее или нижнее). Такая инверсия компонента в зависимости от зоны предъявления стимула связывается с крестообразной формой ретинотопически организованной первичной зрительной коры и таким образом косвенно свидетельствует о зоне генерации данного компонента. Изменение амплитуды компонента С1 после обучения различению зрительных стимулов (таких как ориентации синусоидальных решеток и текстур) было неоднократно показано в исследованиях по перцептивному научению [14; 33; 34]. Например, в работе Вао с коллегами [33] месяц обучения по различению ориентации диагональных синусоидальных решеток привел к улучшению их различения на 30%, что сопровождалось увеличением амплитуды С1 в ответ на предъявление именно диагональных, а не горизонтальных решеток. Более того, присутствующая в этом исследовании инверсия компонента С1 в зависимости от зоны предъявления стимула указывает на то, что изменения происходили на уровне первичной зрительной коры. Об этом же свидетельствует специфичность увеличения С1 к обучаемой ориентации стимула. Таким образом, можно считать, что перцептивное научение отражается на начальном уровне обработки зрительного сигнала в коре мозга.

Однако несмотря на то, что компонент С1 возникает уже через 50—60 мс после предъявления стимула, его изменения могут быть связаны не только с пластичностью первичной зрительной коры, но и с нисходящим влиянием более высокоуровневых процессов. Так, после обучения различению ориентации решеток в одной локации эффекты научения наблюдались также и при выполнении задания уже в другой

локации (относящейся к противоположному полушарию) [14]. При этом увеличение компонента С1 наблюдалось и в этом случае, что указывает на возможность модуляции данного компонента вышестоящими структурами. Необходимо также отметить, что изменения С1 наблюдаются как после многодневных, так и после менее продолжительных тренировочных сессий [14; 33; 34]. Эффект обучения оценивался в этих исследованиях не менее чем через сутки после тренировки, что не исключает влияния эффектов консолидации памяти, происходящих в ночное время, даже на этот ранний компонент.

Компоненты N1, P2

Зрительное перцептивное научение отражается и в более поздних теменно-затылочных компонентах. Так, перцептивное научение вызывает уменьшение амплитуды и латентности негативного компонента N1, регистрируемого через 120—170 мс после предъявления хорошо различимого надпорогового стимула [4; 34; 42] и увеличение амплитуды N1, когда стимул становится различимым только после обучения [50]. Такие изменения компонента N1 после перцептивного обучения могут означать автоматизацию процесса обработки «выученного» стимула и меньшую затрату ресурсов внимания на этот процесс (когда стимул изначально надпороговый) и, наоборот, увеличение ресурсов внимания (когда стимул становится различимым только после обучения). Связь изменений компонента N1 с модулирующим влиянием вышестоящих отделов подтверждается и данными о генерализации эффекта снижения амплитуды N1 на стимулы, которым не обучали [4].

Следующий за N1 компонент зрительного ВП — позитивный компонент с латентностью 180—240 мс (P2). Топография распределения выраженности данного компонента соотносится с активацией зрительной коры, а время его возникновения указывает на возможность модулирующего влияния фронтальных отделов. В соответствии с теорией информационного синтеза А.М. Иваницкого и теорией повторного входа Эдельмана [1], данный компонент может отражать синтез информации о физических и сигнальных свойствах стимула. При перцептивном научении было выявлено увеличение амплитуды компонента P2 [4; 42], причем это увеличение было характерно только для обучающего стимула и не наблюдалось для других стимулов — т. е. изменения этого компонента отличались специфичностью к стимулу. Полученные результаты могут свидетельствовать о вторичных изменениях на уровне зрительной коры.

Важно подчеркнуть, что компонент P2, регистрируемый в задних отделах коры, не идентичен другому позитивному компоненту, регистрируемому примерно на тех же временных латентностях, но во фронтальных отделах. Этот фронтальный компонент P170 значительно уменьшался после перцептивного научения, и это уменьшение длилось как минимум полгода [36]. Изменения фронтального P170 после научения может

быть интерпретировано как уменьшение нисходящего влияния со стороны высокоуровневых областей мозга при обработке обучающего стимула.

Перцептивная компетентность (компонент N170)

Естественный перцептивный опыт человека, а также длительное научение в той или иной области, предполагающие овладение способностью к различению стимулов заданного класса (и приводящие к формированию компетентности), могут фасилитировать процесс перцептивного научения в той же или смежных модальностях. Одним из стимулов, к которому мы с детства сформировали высокую компетентность, является лицо. Многие авторы полагают, что лицо обрабатывается отдельной мозговой системой, и даже была выделена отдельная зона мозга, так называемая веретенообразная область распознавания лиц, находящаяся в веретенообразной извилине нижней височной коры.

Одним из наиболее ярких проявлений особенности восприятия лиц в поведенческих исследованиях является эффект переворачивания лица (face-inversion effect), если предъявлять лицо перевернутым, оно будет распознаваться с большим трудом, нежели иные перевернутые объекты. Это, в частности, может быть вызвано проблематичностью целостного анализа перевернутого лица и переходом к оценке частных признаков. Таким образом, возможность целостного восприятия лиц выделяет эту категорию стимулов среди многих других.

Нейрофизиологическим коррелятом восприятия лиц считается негативный компонент N170 с латентностью около 170 мс, регистрируемый в затылочных и теменно-височных отведениях. Как показывает ряд исследований [12], этот компонент ВП был ярко выражен в ответ на предъявление человеческого лица и еще больше увеличивался, когда лица предъявлялись в перевернутом виде. При этом латентность данного компонента также увеличивалась. Тем не менее, компонент N170 повышает свою амплитуду не только в ответ на лица, но и, в частности, на написанные слова в сравнении с набором символов и иными контрольными стимулами [25]. И, что немаловажно, при предъявлении перевернутых слов на английском языке наблюдалось то же усиление компонента N170 и его задержка, сопоставимые с эффектом, наблюдаемом при предъявлении перевернутых лиц [10]. Указанная тенденция не наблюдалась среди тех испытуемых, которые не являлись носителями английского языка с рождения, что подтверждает связь этиологии компонента N170 с опытом и компетенцией. Связь компонента N170 со зрительной компетенцией проявлялась и при восприятии таких стимулов, как отпечатки пальцев, в ответ на поворот которых происходила задержка компонента N170 в теменных и височных областях экспертов [9], или графики ЭКГ и рентгеновские снимки, в ответ на предъявление которых происходило увеличение компонента N170 у испытуемых-кардиологов и пульмонологов [2]. При просмотре последова-

тельности фотографий птиц и собак у орнитологов компонент N170 был более выражен в ответ на предъявление фотографий птиц, а у кинологов — в ответ на предъявление фотографий собак [45].

Интересно, что тренировка по различению гендерной принадлежности лиц приводила к снижению амплитуды компонента N170 в правой затылочно-теменной области на лица, предъявляемые при обучении [44]. Это наблюдение может говорить об облегчении обработки знакомых лиц. Таким образом, компонент N170 возможно рассматривать не исключительно как нейрофизиологический коррелят восприятия лиц, а более широко, как маркер зрительной компетентности и сформированности перцептивных прототипов.

Подобные изменения компонента N170 демонстрируются и после перцептивного научения, смоделированного в лабораторных условиях. Так, в одном из экспериментов испытуемых обучали различать шахматные доски определенных прототипных категорий. Поворот этих стимулов на 180 градусов продемонстрировал, что соответствующий эффект более выражен для знакомых категорий, как на поведенческом уровне, так и на уровне изменений амплитуды компонента N170 [31]. Для изучения компетентности использовались также искусственно сгенерированные изображения «гриблы» (greebles), которые сопоставимы с лицами тем, что содержат небольшое число ключевых характеристик общей конфигурации [16]. В рамках одного из исследований испытуемым предлагалось в течение двух недель выполнять задания на идентификацию и категоризацию этих изображений. После обучения наблюдался выраженный компонент N170, как в ответ на предъявление лиц, так и в ответ на предъявление гриблов. В условиях предъявления перевернутых лиц или гриблов происходили усиление компонента и его задержка [38]. В тех случаях, когда испытуемые не выполняли тренировочные задания и компетентность в области распознавания и категоризации гриблов не формировалась, усиление выраженности компонента N170 на перевернутые гриблы не возникало [48]. Таким образом, изменения компонента N170 были связаны с научением и эффективностью распознавания и не являлись результатом пассивного просмотра стимулов.

Подводя промежуточный итог анализа совокупности данных, возможно заключить, что зрительное перцептивное научение и компетентность меняют работу первичных и вторичных зон зрительной коры уже на самом раннем этапе обработки зрительной информации, перестраивая рецептивные поля нейронов. Этот эффект отражается в изменении самого раннего компонента зрительного ВП — С1 и появлении реакции компонента N170 на переворачивание изображений. Уменьшение теменно-затылочного компонента N1 предполагает большую автоматизацию обработки стимула после обучения, меньшую вовлеченность вышестоящих мозговых структур, отвечающих за внимание. Увеличение теменно-затылочного компонента P2 после обучения указывает на изменения протекания

процесса синтеза информации о физических характеристиках стимула, поступивших от внешнего входа и активируемых репрезентаций из памяти, происходящего в зрительной коре в период 150—250 мс.

2. Слуховое перцептивное научение

Компоненты N1 и MMN

Одним из самых ранних эффектов перцептивного научения в слуховой модальности является изменение негативного компонента N1, регистрируемого во фронтально-центральных и височных областях в период 75—150 мс после предъявления стимула. Такая топография и время ответа соответствуют активации слуховой коры. Когда испытуемым предлагали выявлять пары различных гласных, предъявляемых одновременно в потоке слуховой информации, компонент N1 уменьшал свою латентность только для тех испытуемых, которые дополнительно тренировались выделять эти гласные в течение недели, разделяющей тестовые блоки [35].

Перцептивное научение в ряде случаев может сопровождаться улучшением выполнения задания в течение первого часа обучения (быстрое перцептивное обучение), которому могут сопутствовать изменения в сенсорных путях. Так, часовая тренировка различения слогов приводила, помимо улучшения поведенческих показателей, к снижению амплитуды компонента N1 [3].

Другой негативный ответ слуховой коры регистрируется в теменных отведениях на латентностях 120—180 мс. Его увеличение после перцептивного научения происходило в правом полушарии, где нейроны, отвечающие за слуховую обработку, предположительно специализируются на анализе спектральных характеристик звуков [8].

Перцептивное научение влияет и на компонент ВП, называемый негативностью рассогласования (MMN). MMN возникает примерно через 100—300 мс после предъявления девиантных стимулов в череде повторяющихся идентичных стандартных стимулов. MMN имеет максимальную выраженность в лобных и центральных отведениях с инверсией полярности в зоне мастоидов. Исследования локализации данного компонента свидетельствуют об участии в его генерации слуховой коры и, предположительно, правых фронтальных отделов [11]. В одном из исследований [5] испытуемым предлагалось различать сложные стандартные и девиантные звуковые паттерны, отличающиеся последним звуком. MMN в ответ на девиантный стимул появлялась сразу после обучения. Дополнительное увеличение MMN и улучшение скорости и точности поведенческих ответов наблюдалось через 36 часов после обучения. Это свидетельствует о влиянии на изменения MMN долговременных нейрофизиологических перестроек, в частности связанных с эффектом консолидации памяти, происходящим во время сна.

Было показано, что после обучения дискриминации трудно различимых стимулов усиление MMN переносилось на другие проще различаемые девианты [18]. Таким образом, тренировка в различении очень похожих стимулов может приводить к улучшению различения других стимулов.

Компонент P2

В слуховом ВП, так же как и в зрительном, присутствует позитивный компонент P2 с латентностью 150—250 мс. Он максимально выражен во фронтально-центральных и височных отведениях ЭЭГ. Его латентность и топография позволяют предположить, что он также отражает процесс информационного синтеза между входящей, в данном случае слуховой, информацией и репрезентациями, поступающими из памяти, что согласуется с имеющимися экспериментальными данными [5; 20; 35; 41].

Большинство исследований сходятся на том, что P2 увеличивается после перцептивного научения. Так, было установлено, что после научения различению слогов «мба» и «ба», происходило увеличение амплитуды P2 [20]. Увеличение амплитуды компонента P2 наблюдалось и после обучения различению сложных периодических тонов разных частот [15]. В рамках другого эксперимента [35] испытуемым предлагалось выявить пары различных гласных, предъявляемых одновременно. Следует подчеркнуть, что увеличение амплитуды компонента P2 в этом исследовании после научения сопровождалось и более точным выполнением задания. Также в уже ранее упомянутом исследовании Atienza, кроме изменения компонента MMN, компонент P2 увеличивался через 24 часа после научения, что сопровождалось уменьшением времени реакции на обученные стимулы [5]. Связь компонента P2 с эффектами научения, регистрируемыми на поведенческом уровне, подтверждается и выявленной обратной корреляцией между амплитудой компонента P2 и скоростью моторного ответа на предъявляемые стимулы [49].

Эффекты слухового перцептивного научения наблюдаются и в условиях зашумления [6]. После того как испытуемым предлагалось задание на обнаружение тона (861 или 1058 Гц) на фоне шума разной выраженности (отношение сигнал-шум варьировалось от -10 до -24 дБ), в последующий день регистрировалось увеличение точности обнаружения целевого сигнала при отношении сигнал-шум, равном -21 дБ. Это сопровождалось увеличением амплитуды компонента P2 в ответ на целевой сигнал при пассивном прослушивании тонов.

Примечательно, что дополнительное повышение амплитуды компонента P2 происходит на следующий день после тренировки или воздействия стимула и может длиться месяцами [5; 20]. Это увеличение P2 может происходить в том числе благодаря консолидации памяти во время сна, что потенциально усиливает эффект перцептивного научения [19]. В одном из

исследований [41] амплитуда P2 сравнивалась между тремя сессиями, разделенными одинаковыми интервалами времени. В одной группе эти сессии происходили утром, вечером и утром, а в другой группе — вечером, утром и вечером. Показательно, что дополнительное увеличение амплитуды P2 происходило только после сна, а не по прошествии того же времени в течение дня, что подтверждает важный вклад ночного сна в эффекты перцептивного научения.

Ряд исследований ставят под сомнение связь компонента P2 именно с аспектом научения. Например, по итогам одного из экспериментов [39], увеличение амплитуды компонента P2 (200—300 мс) происходило как у испытуемых, которые подвергались перцептивному обучению, так и у испытуемых, которые не обучались различению. При этом на поведенческом уровне улучшение в различении слогов происходило только после обучения. По итогам другого исследования [20] также наблюдалось увеличение выраженности компонента P2 (150—250 мс), как у обученных, так и у необученных групп, причем это увеличение наступало еще до блока тренировки на этапе первого контрольного выполнения задания на различение, словно компонент увеличивался под воздействием стимулов как таковых. Однако полностью исключить компонент P2 как маркер перцептивного научения пока не представляется возможным, так как он может быть коррелятом не столько результативности или успешности овладения способностью к различению, сколько непосредственно процесса овладения этой способностью. Этот процесс, в свою очередь, может быть связан с эффектами автоматического распознавания и категоризации стимулов, что соответствует обнаружению обратной корреляции между амплитудой компонента P2 и скоростью моторного ответа на предъявляемые стимулы [49].

Музыкальная компетентность (компоненты P1, N1, MMN и P2)

Музыкальное образование — яркий пример продолжительного перцептивного опыта в слуховой модальности, отражающегося на успешности слухового перцептивного научения. Продолжительная обработка музыкальных стимулов отражается на функциональных особенностях мозга.

Отражение музыкальной компетентности на компонентах ВП нельзя назвать однозначным. Ранний компонент слухового ВП, P1, возникающий примерно через 50 мс после предъявления стимула и генерирующийся в извилине Гешля, показывает, как увеличение амплитуды у музыкантов при прослушивании тонов различных частот [43], так и ее уменьшение при прослушивании гармонических тонов [30]. Аналогично, наблюдалось увеличение выраженности компонента N1 в слуховой коре у музыкантов при прослушивании синусоидальных тонов и инструментальных звуков [7] и первых стимулов в серии звуков фортепиано [22]. В рамках других исследований чувствительность ком-

понента N1 к музыкальной компетентности выявлена не была: при прослушивании звуков фортепиано амплитуда компонента N1m (аналог компонента N1, зарегистрированный с помощью МЭГ) была увеличена в сравнении с условием прослушивания шума как среди музыкантов, так и среди испытуемых без музыкального опыта [23], а при прослушивании синусоидальных тонов различных частот амплитуда компонента N1m была одинаковой для групп музыкантов-профессионалов, музыкантов-любителей и испытуемых без музыкального опыта. Однако связь изменений таких ранних ответов, как P1 и N1, с перцептивным научением не сильно выражена и в классических работах с перцептивным научением, которые были рассмотрены выше. Таким образом, ранние изменения на уровне первичной слуховой области не являются доминирующими при слуховом перцептивном научении.

Данные об изменениях компонента P2, связанных с музыкальной компетентностью, оказались менее противоречивыми. В одном из исследований тестировалось звуковое восприятие профессионалами (скрипачами, пианистами) и испытуемыми без музыкального опыта отдельных нот инструментов (скрипки, фортепиано) и камертонных чистых тонов (гармоничных колебаний). Для обеих групп музыкантов на все типы стимулов амплитуда компонента P2 была более выраженной [13]. Подобное увеличение амплитуды компонента P2 в ответ на звуковой стимул (независимо от его типа) была продемонстрирована у пианистов в сравнении с испытуемыми без «музыкального опыта» в другом исследовании [26]. Более того, было показано, что музыкальная компетентность влияет на чувствительность компонента P2 к сложности предъявляемых звуков: у музыкантов было обнаружено увеличение амплитуды P2 с повышением спектральной сложности звуковых тонов. Магнитоэнцефалографический аналог компонента P2 (P2m) в ответ на предъявление последовательностей музыкальных звуков также был увеличен у музыкантов по сравнению с немусыкантами. Это увеличение наблюдалось в большей степени для аккордов, а не для отдельных тонов [22], что можно связать с уже описанной выше чувствительностью P2 к сложности стимулов у лиц с музыкальным опытом.

Долгосрочные эффекты музыкальной компетентности могут распространяться и на обработку спектральных характеристик речевых звуков: успешность научения соотносению предъявляемых аудиально псевдослов-химер (полученных с помощью изменения спектральных характеристик звуков) с их визуально представленными эквивалентами был выражен больше у испытуемых с музыкальным опытом, чем без него, что сопровождалось также уменьшением времени длительности микросостояния ЭЭГ, подобного компоненту P2 [28]. Следует отметить, однако, что перенос эффектов музыкальной компетентности на сферу речи может быть связан не только с экспертизой как таковой, но и с исходными слуховыми навыками [24]. Так, у испытуемых без музыкального образова-

ния, но с высокими показателями по результатам теста на музыкальные способности (PROMS Musicality Test) было обнаружено увеличение амплитуд компонентов N1 и P2 в ответ на предъявление речевых стимулов в сравнении с группой испытуемых с низкими показателями по тесту. Обнаруженный эффект был устойчив к зашумленности стимулов, а амплитуды компонентов N1 и P2 у испытуемых с высокими показателями теста были идентичны амплитудам тех же компонентов, зарегистрированных у группы музыкантов.

Повышенная способность к обработке девиантных стимулов также может быть следствием музыкальной компетентности, что отражается на MMN. При предъявлении стандартных мелодий, среди которых встречаются отклонения, влияющие на воспринимаемые интервалы, MMN в ответ на эти девиантные мелодии была более выражена у музыкантов, что указывает на их улучшенную способность автоматически регистрировать изменения в структуре мелодии [27]. Нужно отметить, что в контрольном условии, когда предъявлялись лишь стандартные и девиантные тона различных частот, MMN была одинаково выражена в обеих группах независимо от музыкального образования, что указывает на специфичность приобретенного музыкального опыта именно к музыкальным стимулам. Другое исследование [47] продемонстрировало, что музыканты (в данном случае скрипачи) проявляли повышенную чувствительность к темпоральным вариациям слогов, сопровождаемую увеличением MMN в слуховой коре. Более того, выраженный нейрональный ответ наблюдался в отношении гласных звуков, и это соотносится с тем фактом, что деятельность музыкантов предполагает извлечение тональной и, соответственно, частотной информации. Музыканты более успешно различают типы музыкальных аккордов, что сопровождается проявлением MMN на минорные и обращенные аккорды [29], а также на слегка фальшивые аккорды в череде мажорных [21]. В другом исследовании [17] испытуемые прослушивали последовательности тонов, которые можно было сгруппировать по высоте тона или по их длительности. В конце одной из последовательностей предъявлялся девиантный стимул. MMN в ответ на девиант в условии, когда стимулы группировались по высоте тона, не отличалась между музыкантами и контрольной группой. Вместе с тем в условии группировки стимулов по длительности MMN была более выражена у музыкантов. Следовательно, механизм автоматической категоризации звуковых стимулов не является универсальным и ряд характеристик звукового потока (таких как группировка по длительности) усваивается при продолжительном перцептивном научении.

Таким образом, исследования показывают, что обучение музыке приводит к устойчивым, длительным улучшениям определенных аспектов слухового восприятия, связанных с музыкальным опытом, что

сопровождается изменением нейрофизиологической репрезентации слуховых стимулов.

Заключение

Подводя итоги анализу изменений компонентов ВП с латентностью менее 250 мс при зрительном и слуховом перцептивном научении, можно заключить, что эти изменения охватывают все уровни обработки информации о внешнем сигнале, начиная от ранних этапов идентификации стимула и заканчивая более поздними этапами сложных процессов консолидации памяти.

В зрительной модальности зарегистрированы изменения сенсорного компонента С1, снижение амплитуды компонента N1 и увеличение компонента P2. Основной долгосрочный эффект научения, как в результате искусственного научения в рамках исследования, так и в результате формирования естественной либо профессиональной компетентности, проявляется в увеличении амплитуды компонента N1 (N170). Кроме того, о компетентности может свидетельствовать эффект переворачивания стимула. В слуховой модальности наиболее устойчивый эффект научения проявляется в увеличении амплитуды компонента P2, связываемого с синтезом информации о физических и сигнальных свойствах стимула. Он проявляется уже после однократной обучающей серии и сохраняется в течение нескольких месяцев после обучения. Кроме того, рассмотренные нами компоненты ВП обладают генераторами, как в первичных, так и в ассоциативных областях области коры головного мозга. Этот аспект является дополнительным подтверждением того, что перцептивное научение изменяет не только ранние этапы обработки информации, но и более поздние, связанные с интеграцией репрезентаций стимулов с процессами внимания и памяти.

Накопленные поведенческие и нейрофизиологические данные о механизмах перцептивного научения имеют перспективы использования при создании методик как для реабилитации, так и для предупреждения различных нарушений восприятия. Так, уже была продемонстрирована эффективность зрительной перцептивной тренировки у людей со сниженным зрением, амблиопией, потерей центрального зрения и иными нарушениями [32]. Рассматриваются возможности использования перцептивного научения для восстановления и профилактики нарушений чтения. Кроме того, изучаются факторы, способствующие генерализации перцептивного научения и переноса на нетренированные функции.

Исследования нейрофизиологических механизмов помогают в этой практической сфере и в будущем могут быть использованы для неинвазивной объективной оценки эффективности методик научения, выявляя специфические изменения нервных процессов на определенных этапах обработки стимула.

Литература

1. *Иваницкий А.* Синтез информации в ключевых отделах коры как основа субъективных переживаний // Журнал высшей нервной деятельности. 1997. Т. 47. № 2. С. 209—225.
2. A neural marker of medical visual expertise: implications for training / L. Rourke [et al.] // *Advances in Health Sciences Education*. 2016. Vol. 21. № 5. P. 953—966. DOI:10.1007/s10459-016-9712-7
3. *Alain C., Campeanu S., Tremblay K.* Changes in Sensory Evoked Responses Coincide with Rapid Improvement in Speech Identification Performance // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2010. Vol. 22. № 2. P. 392—403. DOI:10.1162/jocn.2009.21279
4. An event-related potential study on perceptual learning in grating orientation discrimination / Y. Song [et al.] // *NeuroReport*. 2007. Vol. 18. № 9. P. 945—948. DOI:10.1097/WNR.0b013e3281527795
5. *Atienza M., Cantero J.L., Dominguez-Marin E.* The time course of neural changes underlying auditory perceptual learning // *Learning & Memory*. 2002. Vol. 9. № 3. P. 138—150. DOI:10.1101/lm.46502
6. Auditory detection learning is accompanied by plasticity in the auditory evoked potential / M.G. Wisniewski [et al.] // *Neuroscience Letters*. 2020. Vol. 721. 5 p. DOI:10.1016/j.neulet.2020.134781
7. *Baumann S., Meyer M., Jäncke L.* Enhancement of Auditory-evoked Potentials in Musicians Reflects an Influence of Expertise but not Selective Attention // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2008. Vol. 20. № 12. P. 2238—2249. DOI:10.1162/jocn.2008.20157
8. *Bosnyak D.J., Eaton R.A., Roberts L.E.* Distributed Auditory Cortical Representations Are Modified When Non-musicians Are Trained at Pitch Discrimination with 40 Hz Amplitude Modulated Tones // *Cerebral Cortex*. 2004. Vol. 14. № 10. P. 1088—1099. DOI:10.1093/cercor/bhh068
9. *Busey T.A., Vanderkolk J.R.* Behavioral and electrophysiological evidence for configural processing in fingerprint experts // *Vision Research*. 2005. Vol. 45. № 4. P. 431—448. DOI:10.1016/j.visres.2004.08.021
10. *Dering B., Hoshino N., Theiry G.* N170 modulation is expertise driven: evidence from word-inversion effects in speakers of different languages // *Future trends in the biology of language*. 2013. 16 p.
11. Differential Contribution of Frontal and Temporal Cortices to Auditory Change Detection: fMRI and ERP Results / B. Opitz [et al.] // *NeuroImage*. 2002. Vol. 15. № 1. P. 167—174. DOI:10.1006/nimg.2001.0970
12. *Eimer M.* The face-sensitive N170 component of the event-related brain potential // *The Oxford handbook of face perception* / Eds. A. Calder [et al.]. OUP Oxford, 2011. P. 329—344.
13. Enhancement of Neuroplastic P2 and N1c Auditory Evoked Potentials in Musicians / A. Shahin [et al.] // *The Journal of Neuroscience*. 2003. Vol. 23. № 13. P. 5545—5552. DOI:10.1523/JNEUROSCI.23-13-05545.2003
14. ERP C1 is top-down modulated by orientation perceptual learning / G.-L. Zhang [et al.] // *Journal of Vision*. 2015. Vol. 15. № 10. P. 1—11 DOI:10.1167/15.10.8
15. Evoked-potential changes following discrimination learning involving complex sounds / I. Orduña [et al.] // *Clinical Neurophysiology*. 2012. Vol. 123. № 4. P. 711—719. DOI:10.1016/j.clinph.2011.08.019
16. *Gauthier I., Tarr M.J.* Becoming a “Greeble” Expert: Exploring Mechanisms for Face Recognition // *Vision Research*. 1997. Vol. 37. № 12. P. 1673—1682. DOI:10.1016/S0042-6989(96)00286-6
17. Grouping of Sequential Sounds—An Event-Related Potential Study Comparing Musicians and Nonmusicians / T.L. van Zuijen [et al.] // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2004. Vol. 16. № 2. P. 331—338. DOI:10.1162/089892904322984607
18. Human Central Auditory Plasticity Associated With Tone Sequence Learning / J.M. Gottselig [et al.] // *Learning & Memory*. 2004. Vol. 11. № 2. P. 162—171. DOI:10.1101/lm.63304
19. *Irvine D.R.F.* Auditory perceptual learning and changes in the conceptualization of auditory cortex / D.R.F. Irvine [et al.] // *Hearing Research*. 2018. Vol. 366. P. 3—16. DOI:10.1016/j.heares.2018.03.011
20. Is the auditory evoked P2 response a biomarker of learning? / K.L. Tremblay [et al.] // *Frontiers in Systems Neuroscience*. 2014. Vol. 8. Article ID 28. 13 p. DOI:10.3389/fnsys.2014.00028
21. *Koelsch S., Schröger E., Tervaniemi M.* Superior pre-attentive auditory processing in musicians // *Neuroreport*. 1999. Vol. 10. № 6. P. 1309—1313. DOI:10.1097/00001756-199904260-00029
22. *Kuriki S., Kanda S., Hirata Y.* Effects of Musical Experience on Different Components of MEG Responses Elicited by Sequential Piano-Tones and Chords // *Journal of Neuroscience*. 2006. Vol. 26. № 15. P. 4046—4053. DOI:10.1523/JNEUROSCI.3907-05.2006
23. *Lütkenhöner B., Seither-Preisler A., Seither S.* Piano tones evoke stronger magnetic fields than pure tones or noise, both in musicians and non-musicians // *NeuroImage*. 2006. Vol. 30. № 3. P. 927—937. DOI:10.1016/j.neuroimage.2005.10.034
24. *Mankel K., Bidelman G.M.* Inherent auditory skills rather than formal music training shape the neural encoding of speech // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2018. Vol. 115. № 51. P. 13129—13134. DOI:10.1073/pnas.1811793115
25. *Maurer U., Brandeis D., McCandliss B.D.* Fast, visual specialization for reading in English revealed by the topography of the N170 ERP response // *Behavioral and Brain Functions*. 2005. Vol. 1. № 13. 12 p. DOI:10.1186/1744-9081-1-13
26. Modulation of P2 auditory-evoked responses by the spectral complexity of musical sounds / A. Shahin [et al.] // *Neuro Report*. 2005. Vol. 16. № 16. P. 1781—1785. DOI:10.1097/01.wnr.0000185017.29316.63

27. Musical Training Enhances Automatic Encoding of Melodic Contour and Interval Structure / T. Fujioka [et al.] // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2004. Vol. 16. № 6. P. 1010—1021. DOI:10.1162/0898929041502706
28. Musicianship boosts perceptual learning of pseudoword-chimeras: an electrophysiological approach / J. Kühnis [et al.] // *Brain Topography*. 2013. Vol. 26. № 1. P. 110—125. DOI:10.1007/s10548-012-0237-y
29. Musicianship facilitates the processing of Western music chords—An ERP and behavioral study / P. Virtala [et al.] // *Neuropsychologia*. 2014. Vol. 61. P. 247—258. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2014.06.028
30. Nikjeh D.A., Lister J.J., Frisch S.A. Preattentive Cortical-Evoked Responses to Pure Tones, Harmonic Tones, and Speech: Influence of Music Training // *Ear and Hearing*. 2009. Vol. 30. № 4. P. 432—446. DOI:10.1097/AUD.0b013e3181a61bf2
31. Perceptual learning and inversion effects: Recognition of prototype-defined familiar checkerboards / C. Civile [et al.] // *Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*. 2014. Vol. 40. № 2. P. 144—161. DOI:10.1037/xan0000013
32. Perceptual Learning at Higher Trained Cutoff Spatial Frequencies Induces Larger Visual Improvements / D. Wu [et al.] // *Frontiers in Psychology*. 2020. Vol. 11. Article ID 265. 9 p. DOI:10.3389/fpsyg.2020.00265
33. Perceptual Learning Increases the Strength of the Earliest Signals in Visual Cortex / M. Bao [et al.] // *Journal of Neuroscience*. 2010. Vol. 30. № 45. P. 15080—15084. DOI:10.1523/JNEUROSCI.5703-09.2010
34. Perceptual learning induces changes in early and late visual evoked potentials / M. Ahmadi [et al.] // *Vision Research*. 2018. Vol. 152. P. 101—109. DOI:10.1016/j.visres.2017.08.008
35. Perceptual learning modulates sensory evoked response during vowel segregation / K.S. Reinke [et al.] // *Cognitive Brain Research*. 2003. Vol. 17. № 3. P. 781—791. DOI:10.1016/S0926-6410(03)00202-7
36. Qu Z., Song Y., Ding Y. ERP evidence for distinct mechanisms of fast and slow visual perceptual learning // *Neuropsychologia*. 2010. Vol. 48. № 6. P. 1869—1874. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2010.01.008
37. Ritter W., Simson R., Vaughan Jr H.G. Event-Related Potential Correlates of Two Stages of Information Processing in Physical and Semantic Discrimination Tasks // *Psychophysiology*. 1983. Vol. 20. № 2. P. 168—179. DOI:10.1111/j.1469-8986.1983.tb03283.x
38. Rossion B., Curran T., Gauthier I. A defense of the subordinate-level expertise account for the N170 component // *Cognition*. 2002. Vol. 85. № 2. P. 189—196. DOI:10.1016/S0010-0277(02)00101-4
39. Sheehan K.A., McArthur G.M., Bishop D.V.M. Is discrimination training necessary to cause changes in the P2 auditory event-related brain potential to speech sounds? // *Cognitive Brain Research*. 2005. Vol. 25. № 2. P. 547—553. DOI:10.1016/j.cogbrainres.2005.08.007
40. Shiu L.P., Pashler H. Improvement in line orientation discrimination is retinally local but dependent on cognitive set // *Perception & Psychophysics*. 1992. Vol. 52. № 5. P. 582—588. DOI:10.3758/bf03206720
41. Sleep-dependent neuroplastic changes during auditory perceptual learning / C. Alain [et al.] // *Neurobiology of Learning and Memory*. 2015. Vol. 118. P. 133—142. DOI:10.1016/j.nlm.2014.12.001
42. Specificity and generalization of visual perceptual learning in humans: an event-related potential study / Y. Ding [et al.] // *NeuroReport*. 2003. Vol. 14. № 4. P. 587—590. DOI:10.1097/00001756-200303240-00012
43. Structural and functional asymmetry of lateral Heschl's gyrus reflects pitch perception preference / P. Schneider [et al.] // *Nature Neuroscience*. 2005. Vol. 8. № 9. P. 1241—1247. DOI:10.1038/nn1530
44. Su J., Tan Q., Fang F. Neural correlates of face gender discrimination learning // *Experimental brain research*. 2013. Vol. 225. № 4. P. 569—578. DOI:10.1007/s00221-012-3396-x
45. Tanaka J.W., Curran T. A Neural Basis for Expert Object Recognition // *Psychological Science*. 2001. Vol. 12. № 1. P. 43—47. DOI:10.1111/1467-9280.00308
46. Task-dependent activation latency in human visual extrastriate cortex / A. Fort [et al.] // *Neuroscience Letters*. 2005. Vol. 379. № 2. P. 144—148. DOI:10.1016/j.neulet.2004.12.076
47. The encoding of vowels and temporal speech cues in the auditory cortex of professional musicians: An EEG study / J. Kühnis [et al.] // *Neuropsychologia*. 2013. Vol. 51. № 8. P. 1608—1618. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2013.04.007
48. The N170 occipito-temporal component is delayed and enhanced to inverted faces but not to inverted objects: an electrophysiological account of face-specific processes in the human brain [Электронный ресурс] / B. Rossion [et al.] // *Neuroreport*. 2000. Vol. 11. № 1. P. 69—72. URL: http://files.face-categorization-lab.webnode.com/200000651-6e24a6f1c7/Rossion_2000_Neuroreport.pdf (дата обращения: 15.06.2020).
49. Tong Y., Melara R. D., Rao A. P2 enhancement from auditory discrimination training is associated with improved reaction times // *Brain Research*. 2009. Vol. 1297. P. 80—88. DOI:10.1016/j.brainres.2009.07.089
50. Visual Perceptual Learning in Human Object Recognition Areas: A Repetition Priming Study Using High-Density Electrical Mapping / G.M. Doniger [et al.] // *NeuroImage*. 2001. Vol. 13. № 2. P. 305—313. DOI:10.1006/nimg.2000.0684
51. Yin R.K. Looking at upside-down faces // *Journal of Experimental Psychology*. 1969. Vol. 81. № 1. P. 141—145. DOI:10.1037/h0027474

References

1. Ivanitskii A. Sintez informatsii v klyuchevykh otdelakh kory kak osnova sub"ektivnykh perezhivaniy [Synthesis of information in key sections of the cortex as the basis of subjective experiences]. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatel'nosti = [Journal of Higher Nervous Activity]*, 1997. Vol. 47, no. 2, pp. 209—225. (In Russ.).
2. Rourke L. et al. A neural marker of medical visual expertise: implications for training. *Advances in Health Sciences Education*, 2016. Vol. 21, no. 5, pp. 953—966. DOI:10.1007/s10459-016-9712-7
3. Alain C., Campeanu S., Tremblay K. Changes in Sensory Evoked Responses Coincide with Rapid Improvement in Speech Identification Performance. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2010. Vol. 22, no. 2, pp. 392—403. DOI:10.1162/jocn.2009.21279
4. Song Y. et al. An event-related potential study on perceptual learning in grating orientation discrimination. *NeuroReport*, 2007. Vol. 18, no. 9, pp. 945—948. DOI:10.1097/WNR.0b013e3281527795
5. Atienza M., Cantero J.L., Dominguez-Marin E. The time course of neural changes underlying auditory perceptual learning. *Learning & Memory*, 2002. Vol. 9, no. 3, pp. 138—150. DOI:10.1101/lm.46502
6. Wisniewski M.G. et al. Auditory detection learning is accompanied by plasticity in the auditory evoked potential. *Neuroscience Letters*, 2020. Vol. 721, 5 p. DOI:10.1016/j.neulet.2020.134781
7. Baumann S., Meyer M., J ncke L. Enhancement of Auditory-evoked Potentials in Musicians Reflects an Influence of Expertise but not Selective Attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2008. Vol. 20, no. 12, pp. 2238—2249. DOI:10.1162/jocn.2008.20157
8. Bosnyak D.J., Eaton R.A., Roberts L.E. Distributed Auditory Cortical Representations Are Modified When Non-musicians Are Trained at Pitch Discrimination with 40 Hz Amplitude Modulated Tones. *Cerebral Cortex*, 2004. Vol. 14, no. 10, pp. 1088—1099. DOI:10.1093/cercor/bhh068
9. Busey T.A., Vanderkolk J.R. Behavioral and electrophysiological evidence for configural processing in fingerprint experts. *Vision Research*, 2005. Vol. 45, no. 4, pp. 431—448. DOI:10.1016/j.visres.2004.08.021
10. Dering B., Hoshino N., Theirry G. N170 modulation is expertise driven: evidence from word-inversion effects in speakers of different languages. *Future trends in the biology of language*, 2013. 16 p.
11. Opitz B. et al. Differential Contribution of Frontal and Temporal Cortices to Auditory Change Detection: fMRI and ERP Results. *NeuroImage*, 2002. Vol. 15, no. 1, pp. 167—174. DOI:10.1006/nimg.2001.0970
12. Eimer M. The face-sensitive N170 component of the event-related brain potential. In Calder A. [et al.] (eds.), *The Oxford handbook of face perception*. OUP Oxford, 2011, pp. 329—344.
13. Shahin A. et al. Enhancement of Neuroplastic P2 and N1c Auditory Evoked Potentials in Musicians. *The Journal of Neuroscience*, 2003. Vol. 23, no. 13, pp. 5545—5552. DOI:10.1523/JNEUROSCI.23-13-05545.2003
14. Zhang G.-L. et al. ERP C1 is top-down modulated by orientation perceptual learning. *Journal of Vision*, 2015. Vol. 15, no. 10, pp. 1—11 DOI:10.1167/15.10.8
15. Orduña I. et al. Evoked-potential changes following discrimination learning involving complex sounds. *Clinical Neurophysiology*, 2012. Vol. 123, no. 4, pp. 711—719. DOI:10.1016/j.clinph.2011.08.019
16. Gauthier I., Tarr M.J. Becoming a “Greeble” Expert: Exploring Mechanisms for Face Recognition. *Vision Research*, 1997. Vol. 37, no. 12, pp. 1673—1682. DOI:10.1016/S0042-6989(96)00286-6
17. van Zuijen T.L. et al. Grouping of Sequential Sounds—An Event-Related Potential Study Comparing Musicians and Nonmusician. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2004. Vol. 16, no. 2, pp. 331—338. DOI:10.1162/089892904322984607
18. Gottselig J.M. et al. Human Central Auditory Plasticity Associated With Tone Sequence Learning. *Learning & Memory*, 2004. Vol. 11, no. 2, pp. 162—171. DOI:10.1101/lm.63304
19. Irvine D.R.F. et al. Irvine D.R.F. Auditory perceptual learning and changes in the conceptualization of auditory cortex. *Hearing Research*, 2018. Vol. 366, pp. 3—16. DOI:10.1016/j.heares.2018.03.011
20. Tremblay K.L. et al. Is the auditory evoked P2 response a biomarker of learning? *Frontiers in Systems Neuroscience*, 2014. Vol. 8, article ID 28, 13 p. DOI:10.3389/fnsys.2014.00028
21. Koelsch S., Schröger E., Tervaniemi M. Superior pre-attentive auditory processing in musicians. *Neuroreport*, 1999. Vol. 10, no. 6, pp. 1309—1313. DOI:10.1097/00001756-199904260-00029
22. Kuriki S., Kanda S., Hirata Y. Effects of Musical Experience on Different Components of MEG Responses Elicited by Sequential Piano-Tones and Chords. *Journal of Neuroscience*, 2006. Vol. 26, no. 15, pp. 4046—4053. DOI:10.1523/JNEUROSCI.3907-05.2006
23. Lütkenhöner B., Seither-Preisler A., Seither S. Piano tones evoke stronger magnetic fields than pure tones or noise, both in musicians and non-musicians. *NeuroImage*, 2006. Vol. 30, no. 3, pp. 927—937. DOI:10.1016/j.neuroimage.2005.10.034
24. Mankel K., Bidelman G.M. Inherent auditory skills rather than formal music training shape the neural encoding of speech. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018. Vol. 115, no. 51, pp. 13129—13134. DOI:10.1073/pnas.1811793115
25. Maurer U., Brandeis D., McCandliss B.D. Fast, visual specialization for reading in English revealed by the topography of the N170 ERP response. *Behavioral and Brain Functions*, 2005. Vol. 1, no. 13. 12 p. DOI:10.1186/1744-9081-1-13

26. Shahin A. et al. Modulation of P2 auditory-evoked responses by the spectral complexity of musical sounds. *NeuroReport*, 2005. Vol. 16, no. 16, pp. 1781—1785. DOI:10.1097/01.wnr.0000185017.29316.63
27. Fujioka T. et al. Musical Training Enhances Automatic Encoding of Melodic Contour and Interval Structure. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2004. Vol. 16, no. 6, pp. 1010—1021. DOI:10.1162/0898929041502706
28. Kühnis J. et al. Musicianship boosts perceptual learning of pseudoword-chimeras: an electrophysiological approach. *Brain Topography*, 2013. Vol. 26, no. 1, pp. 110—125. DOI:10.1007/s10548-012-0237-y
29. Virtala P. et al. Musicianship facilitates the processing of Western music chords—An ERP and behavioral study. *Neuropsychologia*, 2014. Vol. 61, pp. 247—258. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2014.06.028
30. Nikjeh D.A., Lister J.J., Frisch S.A. Preattentive Cortical-Evoked Responses to Pure Tones, Harmonic Tones, and Speech: Influence of Music Training. *Ear and Hearing*, 2009. Vol. 30, no. 4, pp. 432—446. DOI:10.1097/AUD.0b013e3181a61bf2
31. Civile C. et al. Perceptual learning and inversion effects: Recognition of prototype-defined familiar checkerboards. *Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*, 2014. Vol. 40, no. 2, pp. 144—161. DOI:10.1037/xan0000013
32. Wu D. et al. Perceptual Learning at Higher Trained Cutoff Spatial Frequencies Induces Larger Visual Improvements. *Frontiers in Psychology*, 2020. Vol. 11, article ID 265, 9 p. DOI:10.3389/fpsyg.2020.00265
33. Bao M. et al. Perceptual Learning Increases the Strength of the Earliest Signals in Visual Cortex. *Journal of Neuroscience*, 2010. Vol. 30, no. 45, pp. 15080—15084. DOI:10.1523/JNEUROSCI.5703-09.2010
34. Ahmadi M. et al. Perceptual learning induces changes in early and late visual evoked potentials. *Vision Research*, 2018. Vol. 152, pp. 101—109. DOI:10.1016/j.visres.2017.08.008
35. Reinke K.S. et al. Perceptual learning modulates sensory evoked response during vowel segregation. *Cognitive Brain Research*, 2003. Vol. 17, no. 3, pp. 781—791. DOI:10.1016/S0926-6410(03)00202-7
36. Qu Z., Song Y., Ding Y. ERP evidence for distinct mechanisms of fast and slow visual perceptual learning. *Neuropsychologia*, 2010. Vol. 48, no. 6, pp. 1869—1874. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2010.01.008
37. Ritter W., Simson R., Vaughan Jr H.G. Event-Related Potential Correlates of Two Stages of Information Processing in Physical and Semantic Discrimination Tasks. *Psychophysiology*, 1983. Vol. 20, no. 2, pp. 168—179. DOI:10.1111/j.1469-8986.1983.tb03283.x
38. Rossion B., Curran T., Gauthier I. A defense of the subordinate-level expertise account for the N170 component. *Cognition*, 2002. Vol. 85, no. 2, pp. 189—196. DOI:10.1016/S0010-0277(02)00101-4
39. Sheehan K.A., McArthur G.M., Bishop D.V.M. Is discrimination training necessary to cause changes in the P2 auditory event-related brain potential to speech sounds? *Cognitive Brain Research*, 2005. Vol. 25, no. 2, pp. 547—553. DOI:10.1016/j.cogbrainres.2005.08.007
40. Shiu L., Pashler H. Improvement in line orientation discrimination is retinally local but dependent on cognitive set. *Perception & Psychophysics*, 1992. Vol. 52, no. 5, pp. 582—588. DOI:10.3758/bf03206720
41. Alain C. et al. Sleep-dependent neuroplastic changes during auditory perceptual learning. *Neurobiology of Learning and Memory*, 2015. Vol. 118, pp. 133—142. DOI:10.1016/j.nlm.2014.12.001
42. Ding Y. et al. Specificity and generalization of visual perceptual learning in humans: an event-related potential study. *NeuroReport*, 2003. Vol. 14, no. 4, pp. 587—590. DOI:10.1097/00001756-200303240-00012
43. Schneider P. et al. Structural and functional asymmetry of lateral Heschl's gyrus reflects pitch perception preference. *Nature neuroscience*, 2005. Vol. 8, no. 9, pp. 1241—1247. DOI:10.1038/nn1530
44. Su J., Tan Q., Fang F. Neural correlates of face gender discrimination learning. *Experimental brain research*, 2013. Vol. 225, no. 4, pp. 569—578. DOI:10.1007/s00221-012-3396-x
45. Tanaka J. W., Curran T. A Neural Basis for Expert Object Recognition. *Psychological Science*, 2001. Vol. 12, no. 1, pp. 43—47. DOI:10.1111/1467-9280.00308
46. Fort A. et al. Task-dependent activation latency in human visual extrastriate cortex. *Neuroscience Letters*, 2005. Vol. 379, no. 2, pp. 144—148. DOI:10.1016/j.neulet.2004.12.076
47. Kühnis J. et al. The encoding of vowels and temporal speech cues in the auditory cortex of professional musicians: An EEG study. *Neuropsychologia*, 2013. Vol. 51, no. 8, pp. 1608—1618. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2013.04.007
48. Rossion B. et al. The N170 occipito-temporal component is delayed and enhanced to inverted faces but not to inverted objects: an electrophysiological account of face-specific processes in the human brain [Elektronnyi resurs]. *Neuroreport*, 2000. Vol. 11, no. 1, pp. 69—72. URL: http://files.face-categorization-lab.webnode.com/200000651-6e24a6f1c7/Rossion_2000_Neuroreport.pdf (Accessed 15.06.2020).
49. Tong Y., Melara R.D., Rao A. P2 enhancement from auditory discrimination training is associated with improved reaction times. *Brain Research*, 2009. Vol. 1297, pp. 80—88. DOI:10.1016/j.brainres.2009.07.089
50. Doniger G.M. et al. Visual Perceptual Learning in Human Object Recognition Areas: A Repetition Priming Study Using High-Density Electrical Mapping. *NeuroImage*, 2001. Vol. 13, no. 2, pp. 305—313. DOI:10.1006/nimg.2000.0684
51. Yin R.K. Looking at upside-down faces. *Journal of Experimental Psychology*, 1969. Vol. 81, no. 1, pp. 141—145. DOI:10.1037/h0027474

Информация об авторах

Клеева Дария Федоровна, исполнитель проекта РФФИ № 19-313-51039, реализуемого на базе Научно-технологического университета «Сириус», Сочи, Россия; стажер-исследователь, Институт когнитивных нейронаук, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6040-2154>, e-mail: dkleeva@gmail.com

Ребрейкина Анна Борисовна, кандидат биологических наук, исполнитель проекта РФФИ № 19-313-51039, реализуемого на базе Научно-технологического университета «Сириус», Сочи, Россия; научный сотрудник лаборатории высшей нервной деятельности человека, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук (ИВНД и НФ РАН), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5714-2040>, e-mail: anna.rebreikina@gmail.com

Сысоева Ольга Владимировна, кандидат психологических наук, руководитель проекта РФФИ № 19-313-51039, реализуемого на базе Научно-технологического университета «Сириус», Сочи, Россия; ведущий научный сотрудник лаборатории высшей нервной деятельности человека, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук (ИВНД и НФ РАН), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4005-9512>, e-mail: olga.v.syssoeva@gmail.com

Information about the authors

Daria F. Kleeva, Junior Researcher on RFBR № 19-313-51039, Sirius University of Science and Technology, Sochi, Russia; Research Assistant, Institute of Cognitive Neuroscience, National Research University «Higher School of Economics», Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6040-2154>, e-mail: dkleeva@gmail.com

Anna B. Rebreikina, PhD in Biology, Senior Researcher on RFBR № 19-313-51039, Sirius University of Science and Technology, Sochi, Russia; Researcher, Laboratory of Human Higher Nervous Activity, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5714-2040>, e-mail: anna.rebreikina@gmail.com

Olga V. Syssoeva, PhD in Psychology, PI on RFBR № 19-313-51039, Sirius University of Science and Technology, Sochi, Russia; Leading Researcher, Laboratory of Human Higher Nervous Activity, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4005-9512>, e-mail: olga.v.syssoeva@gmail.com

Получена 01.04.2020
Принята в печать 06.06.2020

Received 01.04.2020
Accepted 06.06.2020

Может ли научение новым словам в слуховой модальности вести к быстрому формированию пластических перестроек в коре больших полушарий у взрослых?

Разоренова А.М.

Сколковский институт науки и технологий (Сколтех),
Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3386-6914>, e-mail: razoral@ya.ru

Скавронская В.В.

Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0093-6592>, e-mail: skavronskaya.valerie@mail.ru

Тюленев Н.Б.

Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1214-7478>, e-mail: tnb6@yandex.ru

Рытикова А.М.

Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0153-9457>, e-mail: ann.zelener@mail.ru

Чернышев Б.В.

Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ),
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ имени М.В. Ломоносова),
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8267-3916>, e-mail: b_chernysh@mail.ru

Устойчивая связь между словами и обозначаемыми объектами или событиями лежит в основе человеческой речи. Фундаментальным является вопрос о том, как слово обрабатывается человеческим мозгом и какие факторы обеспечивают интеграцию незнакомого набора фонем в лексикон. Ответ на него мог бы произвести прорыв во многих областях, начиная от методик преподавания языка и программ по коррекции речи у детей с поздним развитием и заканчивая новыми методами реабилитации больных с нарушениями речи и нейрофизиологическими тестами для проверки работы речевого аппарата. В данном обзоре рассматривается современное состояние российских и зарубежных исследований по тематике научения новым словам при слуховом предъявлении, выполненных с применением разнообразных методик. Равное внимание уделено как исследованиям фонологической обработки слова (распознаванию фонетического паттерна), так и работам, посвященным исследованию процессов приобретения словом семантики. Рассмотрены результаты исследований, выполненных с помощью различных методов — фМРТ, ЭЭГ/МЭГ и др.

Ключевые слова: речь, ассоциативное научение, перцептивное научение, оперантное научение, быстрое картирование, семантика слова, фонетический паттерн, слуховая задача.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках научного проекта № 17-29-02168.

Для цитаты: Может ли научение новым словам в слуховой модальности вести к быстрому формированию пластических перестроек в коре больших полушарий у взрослых? [Электронный ресурс] / А.М. Разоренова, В.В. Скавронская, Н.Б. Тюленев, А.М. Рытикова, Б.В. Чернышев // Современная зарубежная психология. 2020. Том 9. № 2. С. 46—56. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090204>

Can learning new words in auditory modality lead to rapid cortical plasticity in adults

Razorenova A.M.

*Skolkovo Institute of Science and Technology; Moscow State University of Psychology & Education,
Moscow, Russia*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3386-6914>, e-mail: razoral@ya.ru

Skavronskaya V.V.

*Moscow State University of Psychology & Education,
Moscow, Russia*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0093-6592>, e-mail: skavronskaya.valerie@mail.ru

Tyulenev N.B.

*Moscow State University of Psychology & Education (MSUPE),
Moscow, Russia*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1214-7478>, e-mail: tnb6@yandex.ru

Rytikova A.M.

*Moscow State University of Psychology & Education (MSUPE),
Moscow, Russia*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0153-9457>, e-mail: ann.zelener@mail.ru

Chernyshev B.V.

*Moscow State University of Psychology & Education,
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia,*

National Research University Higher School of Economics, Moscow Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8267-3916>, e-mail: b_chernysh@mail.ru

A stable relation between words and referent objects or events underlies human language. One of the most fundamental questions is how brain processes new words in order to form new lexical items. The answer to such questions will bring significant breakthrough in multiple fields, ranging from methods of language teaching and speech correction programs for children with late development to clinical rehabilitation of patients with speech impairments and neurophysiological functional tests of language network. This review presents the current state of Russian and foreign studies dedicated to new words learning in auditory modality. We tried to consider all varieties of techniques and paradigms in the field. Equal attention is paid both to studies of the phonological processing of a word (recognition of a phonetic pattern), and to works which consider the ways in which word acquire semantics. We discuss experiments carried out with an aid of such neuroimaging methods as fMRI, EEG / MEG, etc.

Keywords: word learning, associative learning, operant learning, word semantics, MEG, EEG, fMRI, cortical plasticity, familiarization, consolidation.

Funding: The reported study was funded by Russian Foundation for Basic Research (RFBR), project number 17-29-02168.

For citation: Razorenova A.M., Skavronskaya V.V., Tyulenev N.B., Rytikova A.M., Chernyshev B.V. Can learning new words in auditory modality lead to rapid cortical plasticity in adults [Elektronnyi resurs]. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya = Journal of Modern Foreign Psychology*, 2020. Vol. 9, no. 2, pp. 46—56. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090204> (In Russ.).

Введение

В речи человека смысл слова ставится в соответствие с фонетической структурой слова. Научение таким соответствиям происходит у человека чрезвычайно быстро и в очень большом объеме — например, при научении речи в раннем детском возрасте, при изучении иностранных языков взрослыми, а также при освоении новых терминов и понятий на родном языке. Словарный запас взрослого человека представляет собой гигант-

скую базу данных, хранящуюся в мозге. Однако не только размер, но и скорость сохранения информации в памяти существенно превосходит показатели, которых можно было бы ожидать, исходя из классических нейробиологических принципов научения и памяти. Один из ключевых вопросов нейролингвистики — понять, как протекают эти психические процессы и как при этом функционирует человеческий мозг.

Слово — структурная и смысловая единица человеческого языка — представляет собой последователь-

ность звуков (фонем). Для восприятия слова, как единого целого, необходимо распознавать его фонетический паттерн [4; 14]. Вместе с тем слово несет и семантическую нагрузку (набор значений), тем самым обеспечивая возможность вербальной коммуникации между людьми [12]. Исследование процессов, отвечающих за распознавание мозгом фонетического паттерна и кодирование семантики, до сих пор считается одной из сложнейших задач современной нейробиологии. Двойственная природа слова сама по себе затрудняет исследования, поскольку процессы, связанные с фонетическим анализом слова и семантическим кодированием его смысла, взаимно перекрываются по латентности и локализации. В результате при восприятии слова крайне сложно установить причинно-следственные связи и разделить этап фонетического кодирования и семантического анализа в структурах коры.

Теория консолидации: две стадии восприятия нового слова

Наибольшие разногласия в литературе связаны с вопросом о том, насколько быстро развивается пластичность кортикальных ответов, связанных с научением новым словам. Согласно двухстадийной теории научения, для формирования устойчивой кортикальной репрезентации незнакомого слова требуется продолжительное время, и этот процесс протекает в два этапа (two-stage complementary learning systems — CLS) [3].

На начальном этапе восприятие ранее незнакомого слова осуществляется за счет медиально-височных структур, включая гиппокамп, который опосредованно активирует незначительную часть коры больших полушарий (неокортекса).

На втором этапе происходят устойчивые нейропластические изменения в коре больших полушарий, обеспечивающие консолидацию памяти; эти изменения позволяют проводить декодирование фонетического паттерна и семантики нового слова уже без участия гиппокампа.

Эти процессы требуют времени и, возможно, протекают исключительно во время сна: соответственно, их можно выявить лишь на следующий день после процедуры научения. Вывод двухстадийной теории сделан преимущественно по результатам фМРТ- и ПЭТ-исследований [3; 13; 27], в которых изменения в активности коры в ответ на новые слова удавалось зарегистрировать только на второй день, следующий за днем научения.

В рамках двухстадийной парадигмы научения были проведены сравнения между фМРТ-ответами при пассивном прослушивании знакомых слов, незнакомых псевдослов, псевдослов, которые испытуемый прослушал за день до записи фМРТ и псевдослов, которые испытуемый прослушал в день записи фМРТ [3].

Основным результатом были значимые отличия ответов на «новые» слова (на псевдослова, с которыми испытуемый не ознакомился или ознакомился в день

записи) от ответов на реальные слова. Различия были локализованы в левой височной коре (STG), моторной коре и дополнительной моторной области (SMA). Для псевдослов, ознакомление с которыми произошло накануне, этот контраст отсутствовал.

Эффект был интерпретирован как маркер консолидации словоформ, после которой обработка мозгом новых слов становилась неотличимой от обработки знакомых слов.

Отдельно исследовалась степень активации гиппокампа [3; 8]. Наибольшая гиппокампальная активность была зарегистрирована для псевдослов, предъявлявшихся без предварительного ознакомления, что свидетельствует в пользу ключевой роли структуры именно на начальном этапе восприятия незнакомого фонетического рисунка.

Ланди и соавторы [24] использовали аналогичный подход для анализа процессов приобретения словом семантики. В течение первого дня эксперимента испытуемые должны были установить связь между псевдословами и изображениями, выбирая между двумя предложенными вариантами и получая обратную связь. На следующий день эксперимент повторялся для другого набора псевдослов и изображений. Ответы фМРТ при пассивном прослушивании слов, получивших ассоциацию накануне, и слов, ассоциированных с изображением в день эксперимента, сравнивались с реальными словами. На второй день после установления ассоциации псевдослова вызвали повышенную активацию классических речевых зон коры (STG/MTG, left IPL, PCC/PCun) по сравнению со словами, которые приобрели ассоциацию в день эксперимента. Примечательно, что слова с семантической ассоциацией вызвали повышенную активность гиппокампа по сравнению с незнакомыми словоформами и реальными словами.

Сравнивая результаты, полученные для «пустых» словоформ [3; 8] и для псевдослов, которым назначен смысл [24], можно говорить о различном характере консолидации в этих случаях. Это было подтверждено в работе Такашима и соавторов [31] (рассмотрена ниже).

Распознавание фонетического паттерна

Вопреки рассмотренным выше исследованиям, результаты ЭЭГ/МЭГ-исследований позволяют предположить, что пластические изменения в коре больших полушарий для новых слов протекают гораздо быстрее.

Выявлена следующая закономерность: вызванные потенциалы (ВП) в ответ на псевдослова после неоднократного повторения приобретают форму, схожую с ВП на известные слова, в пределах одной, достаточно короткой, экспериментальной сессии [1; 22; 28; 34; 35].

В ряде исследований было показано, что нескольких повторений псевдослова достаточно для формирования специфических изменений ответа коры больших полушарий, и можно предположить, что эти изменения

связаны с автоматическим распознаванием фонетического паттерна ранее незнакомого слова [18; 28; 35; 37].

Данный вывод сделан на основании того, что при многократном повторении известных слов и псевдослов, ВП на известные слова не претерпевал значительных изменений или немного уменьшался, в то время как изначально слабый мозговой ответ на псевдослова к концу эксперимента возрастал до уровня ВП на известные слова.

Описанный эффект не зависит от фактора вовлечения/отвлечения внимания испытуемого. Авторы интерпретируют наблюдаемый эффект как свидетельство формирования репрезентации для новых фонологических паттернов в результате пассивного научения.

Сходные результаты были получены в экспериментах при регистрации негативности рассогласования (MMN) для слов и псевдослов [7; 19; 39]. Эти электрофизиологические результаты согласуются с данными о повышении эффективности распознавания фонетического паттерна в ходе многократного предъявления слов в поведенческих экспериментах [13].

В исследованиях, перечисленных выше, использовалась парадигма пассивного предъявления звуковых стимулов (слов и псевдослов), и все эффекты были получены в течение одного относительного короткого эксперимента (без интервала времени, достаточного для консолидации памяти). Тем не менее, представляется сомнительным, что лишённые семантики псевдослова мозг обрабатывает аналогично словам естественного языка [36].

Более того, рассмотренные выше эффекты, выявленные в ходе пассивного повторения псевдослов, могут быть неспецифичными в отношении лингвистических задач, и результаты, полученные в подобных исследованиях, можно обобщить в терминах перцептивного научения [33]. Так, например, показано, что предварительное ознакомление со зрительными стимулами улучшает выполнение задачи на категоризацию этих стимулов — причем даже в случае, когда внимание испытуемого было обращено на другую задачу [32].

Таким образом, можно констатировать, что при пассивной слуховой демонстрации псевдослов действительно улучшается распознавание их фонетической структуры, однако делать вывод о том, что мозг автоматически обрабатывает бессмысленные псевдослова как обычные слова спустя некоторое количество повторных предъявлений — преждевременно.

Семантика и фонетический паттерн

Для того чтобы ответить на вопрос, как новые слова обрабатываются мозгом, необходимо исследовать не только перцептивное восприятие фонологического паттерна, но и процесс приобретения семантики.

В рамках такой экспериментальной парадигмы требуется не только предъявлять фонологический пат-

терн, но и привязать к нему некоторое значение. В подобных фМРТ-экспериментах наиболее популярна методика ассоциативного научения.

Эта методика заключается в предъявлении псевдослов вместе с референтным значением (например, изображением или реальным словом). Стоит подчеркнуть, что характер «научения» в большинстве исследований остается пассивным: в ответ на стимулы испытуемым не нужно совершать каких-либо действий.

фМРТ-эксперименты с применением методики ассоциативного научения выявили различия в реакции на псевдослова без ассоциации и псевдослова с ассоциацией, однако только на следующий день после научения [27; 31]. На второй день после ознакомления Такашима и соавторы [31] обнаружили усиление активности в классических речевых зонах левого полушария: височной извилине (MTG), островковой коре, фронтальной коре (IFG, MFG), как для псевдослов «без семантики», так и для псевдослов, ассоциированных с изображением. Прямое сравнение мозговых ответов на два типа стимулов выявило большую активность для слов, ассоциированных с картинкой. Значимые различия локализованы в области левой теменной извилины (MTG), фузиформной извилине, поясной коре.

Все указанные фМРТ-исследования подтверждают теорию о двухстадийном научении новым псевдословам.

Экспериментов по ассоциативному научению семантике слов с регистрацией ЭЭГ или МЭГ сравнительно немного.

В работе Фаргье с соавторами [5] описаны изменения ВП на псевдослова до и после ассоциативного научения. Псевдослова ассоциировали с видеозаписями различных движений или абстрактными объектами. В обоих случаях обнаружены качественные различия ВП в интервале 100—400 мс после предъявления стимула. Однако различия были выявлены только на второй день после научения, что согласуется с результатами фМРТ-экспериментов и свидетельствует в пользу теории о двухстадийном научении новым псевдословам.

В исследовании Франсуа с соавторами [26] также изучены эффекты ассоциативного научения. Задачей испытуемых было выявить трехсложные псевдослова, предъявляемые в потоке фонем, имитирующем речь. В первом случае испытуемые должны были в последовательности непрерывно звучащих слогов выделять повторяющиеся фонетические последовательности лишь на основе статистики их повторяемости, во втором случае в начале такого псевдослова предъявлялось изображение объекта, что создавало условия для ассоциативного научения.

Сравнение ВП-ответов показало, что компонент N400, традиционно связываемый с семантической обработкой [20], возникал исключительно в ответ на псевдослова, ассоциированные с изображениями.

Сушественно, что эффект наблюдался в первый день эксперимента.

К сожалению, по результатам данной работы невозможно сделать однозначный вывод о присваивании семантики слову, поскольку модуляция ВП могла быть следствием эффектов внимания: вероятно, последовательности слогов, сопровождаемые изображениями, привлекают внимание испытуемого, в отличие от непрерывного потока фонем без видеоряда.

Компонент N400 стоит рассматривать в качестве маркера сематического научения лишь в том случае, если он зарегистрирован при пассивном прослушивании вне процедуры научения как таковой, а именно при сравнении ВП в ответ на предъявления псевдослов до и после процедуры научения.

Данное методическое ограничение было преодолено в недавнем ЭЭГ-исследовании Александрова и соавторов [30]. В этой работе псевдослова ассоциировались с реальными словами (а не с изображениями), и авторы сравнивали негативность рассогласования (MMN) для псевдослов до и после научения. Амплитуда MMN увеличилась для псевдослов после научения, в пределах одного дня эксперимента. Локализацию полученных эффектов авторы не проводили.

Относительным ограничением для интерпретации результатов данной работы является то, что было исследовано всего три псевдослова, при этом отсутствовала контрбалансировка связи между псевдословом и референтным значением. Кроме того, присваивание псевдослову абсолютного синонима из реального языка не отражает естественных условий усвоения речи из языковой среды. В реальности человек активно вовлечен во взаимодействие и получает обратную связь, прямо или косвенно сообщаящую ему, правильно ли он ассоциирует изучаемое слово с его смыслом или нет.

В этом отношении интересные результаты получены при использовании процедуры активного ассоциативного научения [15]. Зарегистрировано повышение MMN в ответ на псевдослова, которые приобрели ассоциацию вследствие сочетанного предъявления вместе с изображениями определенных объектов. Для слов, которые предъявлялись каждый раз с разным изображением, динамики, подобной MMN не обнаружено. Важно отметить, что эффект наблюдался в первый день эксперимента; интересно также, что на следующий день после научения эффект отсутствовал (хотя при этом поведенческие тесты на знание правила «слово-значение» были успешными).

В целом, ЭЭГ- и МЭГ-исследования, имитирующие присвоение семантики псевдослову, говорят против теории двухстадийного научения новым словам, поскольку в большинстве случаев удавалось зарегистрировать эффекты в течение первого дня эксперимента. По своей природе ЭЭГ- и МЭГ-методы не позволяют регистрировать гиппокампальную активность, и этим методам доступна лишь активность новой коры больших полушарий.

Таким образом, эти исследования свидетельствуют в пользу того, что эффекты научения новым словам проявлялись именно в коре больших полушарий, а не

в гиппокампе. Невозможно объяснить столь быстрые изменения в характере ответов ВП в рамках двухстадийной теории.

В чем может быть причина столь разных выводов из исследований, использовавших разные методики регистрации мозговой активности?

Различия результатов фМРТ- и ЭЭГ-экспериментов можно отчасти объяснить характеристиками регистрируемой нейронной активности. ЭЭГ-метод позволяет регистрировать синхронную активность пирамидных нейронов коры больших полушарий с высоким временным разрешением (порядка 10 мс), в то время как метод фМРТ, в силу низкого временного разрешения BOLD-сигнала, регистрирует только интегральную активность за длительный период (порядка 1—10 с). Из-за этой особенности на фМРТ трудно выявить ранние низкоуровневые процессы в мозге, возникающие с небольшим латентным периодом после предъявления стимула, имеющие короткую длительность и синхронизированные с ним [9].

Среди работ, в которых был использован метод МРТ-картирования, стоит отметить три, в которых все же были зарегистрированы эффекты, локализованные в корковых структурах (а не только в области гиппокампа) в пределах первого экспериментального дня, т. е. без длительного интервала времени на гипотетическую консолидацию.

В этих работах применялась методика активного ассоциативного научения, т. е. форма оперантного научения. Бретенштейн и коллеги [16] сообщают об изменениях в нижней части теменной коры левого полушария.

В исследовании Хостеттера [17] обнаружена более распределенная сеть, включающая области, задействованные при чтении и обработке языковых стимулов: нижняя лобная извилина, средняя теменная извилина, нижняя теменная доля. В этой работе сравнивались ответы на псевдослова, предъявляемые пассивно до и сразу после научения (интервал между записями составил не более одного часа). В эксперименте анализировались данные диффузионной МРТ, которые отражают структурные микроперестройки коры больших полушарий, а не распределенную корковую активность. В совокупности данные МРТ-работы, как и рассмотренные выше ЭЭГ- и МЭГ-эксперименты, доказывают, что при усвоении новых слов возникновение кортикальной пластичности возможно практически немедленно после научения.

Быстрое картирование

В контексте научения семантике слова отдельно следует упомянуть так называемое «быстрое картирование» (fast mapping), выделяемое некоторыми исследователями в отдельную методику [2].

Данный поведенческий метод основан на выборе путем исключения, т. е. подразумевает понимание и

выполнение правила самим испытуемым, что приближает метод к активной форме научения (оперантному научению).

Предполагается, что быстрое картирование не зависит от гиппокампальной памяти [34] и поэтому не требует времени на консолидацию в долговременной памяти [21; 34].

Однако необходимо отметить, что само по себе существование феномена «быстрого картирования» подвергается сомнению многими авторами, и методические различия между эксплицитным научением и «быстрым картированием» заслуживают тщательного исследования в будущем [36].

Регистрацию ЭЭГ при реализации поведенческой методики быстрого картирования использовали Васильева и коллеги [25]. В ее работе отмечается усиление ответов ВП на псевдослова после научения, эффект локализован в теменной коре (поле Бродмана BA21) левого полушария. Авторы указывают на то, что результаты локализации ЭЭГ-сигналов могут быть недостаточно надежными вследствие пространственного разрешения ЭЭГ-метода и невозможности их статистической проверки в рамках данного эксперимента.

Активное научение

Одной из причин недостоверных и противоречивых результатов речевых исследований может быть неэффективная процедура научения, недостаточно вовлекающая испытуемого в процесс научения. Педагогический опыт свидетельствует, что при пассивном научении (просмотре словаря, чтении карточек) слова иностранного языка плохо усваиваются и не становятся частью «активного лексикона» (словами, которые человек использует в речи).

Исходя из этой посылки, стоит упомянуть о процедурах активного научения и обосновании их применения в языковых исследованиях.

Не исключено, что процедура активного научения может запускать механизмы быстрого семантического научения. Эксперименты на приматах подтверждают, что наиболее эффективным методом для запуска нейронной пластичности в коре больших полушарий является именно оперантное научение.

В серии экспериментов Блэйка с соавторами [10; 11; 23:] показано, что быстрые и устойчивые изменения ответов нейронов коры на звуковые тоны обеспечивает исключительно оперантное научение (пассивная ассоциация между стимулами и подкреплением не приводит к подобной пластичности). Этот факт проясняет, почему результаты, полученные в экспериментах с использованием активной формы научения [15; 16; 17; 24] и процедуры «быстрого картирования» [21; 25] противоречат работам, построенным на пассивном научении [13; 27].

В обзоре [29] подробно рассмотрены механизмы, которые обеспечивают быстрое формирование корковых репрезентаций при минимальном вовлечении гип-

покампа. Серии работ показывают, что активный поиск и научение, а также многократное выполнение задачи или привлечение моторики напрямую влияют на скорость и характер изменений в коре больших полушарий при минимальном задействовании гиппокампальных структур.

Поле дальнейших исследований

В завершение обозначим перспективные направления для дальнейших исследований процессов, связанных с приобретением словом смысла.

Данные многих ЭЭГ- и МЭГ-экспериментов, а также некоторых МРТ-экспериментов говорят в пользу того, что неокортикальные репрезентации, как фонетического паттерна слова, так и его семантики могут формироваться в пределах 1—2 часов активного ассоциативного научения и даже быстрее — т. е. без длительного периода времени, гипотетически требующегося на консолидацию памяти.

Вероятно, данные эффекты синхронизированы с предъявлением стимула и длятся относительно короткое время, что не позволило детектировать их во многих фМРТ-экспериментах. Дальнейшее усиление пластических изменений коры во время процесса консолидации, вероятно, изменяет характер мозговой активности, что может позволить зарегистрировать эти изменения на фМРТ на второй день.

Действительно, как было сказано выше, значительное количество работ с использованием фМРТ выявили изменения исключительно на второй день после процедуры научения. Прямое сопоставление ЭЭГ-и фМРТ-исследований возможно при повторении записи ЭЭГ или МЭГ на следующий день после научения.

Особое внимание при этом следует уделить: 1) контролю ознакомления с фонологическим паттерном псевдослов; 2) эффективной процедуре научения, обеспечивающей активное вовлечение испытуемых в процесс запоминания формы и семантики новых слов — данное условие позволит наиболее полно симитировать естественные условия усвоения языка.

В рамках обозначенной парадигмы интересно проверить, воспринимаются ли затверженные псевдослова с семантикой подобно реальным словам. В фМРТ-экспериментах в качестве критерия встраивания нового слова в обработку, осуществляемую неокортикальными речевыми областями, Дэвис с соавторами [3] предложили использовать эффект лексического конфликта (lexical competition). Псевдослова были построены из реальных слов английского языка с измененным последним слогом, например, ‘cathedruke’ (образовано от ‘cathedral’). После того как испытуемые пассивно прослушали набор псевдослов, у них обнаруживалась задержка реакции при тесте на категоризацию исходного слова. Наиболее интересно, что было выявлено замедление реакции на эту же задачу спустя сутки после эксперимента. Данный эффект и служил марке-

ром интеграции псевдослова в языковую сеть (лексикон) в целом ряде работ, посвященных пассивному восприятию псевдослов [3; 6; 38].

Однако в работе Такашима [31], где использовались «пустые» словоформы и псевдослова с ассоциацией, эффект лексического конфликта наблюдался только для псевдослов без ассоциации. Для псевдослов с ассоциацией эффект лексического конфликта отсутствовал. При этом припоминание для слов с ассоциацией было лучше в день научения и значительно улучшилось на второй день.

Таким образом, эффект лексического конфликта не является объективным критерием «встраивания» слова в лексикон и для исследований в данном направлении требуются новые критерии, например, исследование динамики компонента N400.

Заключение

Подводя итог анализу литературы по данному вопросу, необходимо указать, что, несмотря на наличие обширной литературы, посвященной научению

новым словам, до сих пор не вполне освещены многие принципиально важные вопросы.

Прежде всего, сохраняются разногласия относительно того, требуется ли длительный многочасовой период консолидации, чтобы эффекты научения новым словам можно было выявить в речевых и иных зонах новой коры больших полушарий. Остается спорным вопрос касательно локализации эффектов, связанных с распознаванием фонетического паттерна слова и его семантики.

Также не вполне ясны латентность данных процессов, их временная динамика и их взаимное влияние друг на друга.

Данные вопросы требуют дополнительных исследований с использованием методов, обеспечивающих высокое пространственное и временное разрешение, и парадигмы, способной обеспечить эффективное научение новым словам.

Для прямой проверки гипотезы о двухстадийном усвоении новых слов крайне желательно произвести измерения в день научения и на следующий день после, понаблюдав динамику мозговой активности не только с использованием фМРТ-метода, но и ЭЭГ/МЭГ для возможности прямого сопоставления результатов.

Литература

1. Borovsky A., Kutas M., Elman J.L. Getting it right: Word learning across the hemispheres Arielle // *Neuropsychologia*. 2013. Vol. 51. № 5. P. 825—837. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2013.01.027
2. Carey S., Bartlett E. Acquiring a single new word // *Papers and Reports on Child Language Development*. 1978. Vol. 15. P. 17—29.
3. Davis M.H., Gaskell M.G. A complementary systems account of word learning: neural and behavioural evidence // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*. 2009. Vol. 364. № 1536. P. 3773—3800. DOI:10.1098/rstb.2009.0111
4. DeWitt I., Rauschecker J.P. Phoneme and word recognition in the auditory ventral stream // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2012. Vol. 8. № 109. P. 505—514. DOI:10.1073/pnas.1113427109
5. Differentiating semantic categories during the acquisition of novel words: Correspondence analysis applied to event-related potentials / R. Fargier [et al.] // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2014. Vol. 26. № 11. P. 2552—2563. DOI:10.1162/jocn_a_00669
6. Dumay N., Gaskell M.G. Sleep-associated changes in the mental representation of spoken words: Research report // *Psychological Science*. 2007. Vol. 18. № 1. P. 35—39. DOI:10.1111/j.1467-9280.2007.01845.x
7. Early access to lexical-level phonological representations of Mandarin word-forms: evidence from auditory N1 habituation / J. Yue [et al.] // *Language, Cognition and Neuroscience*. 2017. Vol. 32. № 9. P. 1148—1163. DOI:10.1080/23273798.2017.1290261
8. Effects of memory consolidation on human hippocampal activity during retrieval / S. Bosshardt [et al.] // *Cortex*. 2005. Vol. 41. № 4. P. 486—498. DOI:10.1016/S0010-9452(08)70189-8
9. Engell A.D., Huettel S., McCarthy G. The fMRI BOLD signal tracks electrophysiological spectral perturbations, not event-related potentials // *NeuroImage*. 2012. Vol. 59. № 3. P. 2600—2606. DOI:10.1016/j.neuroimage.2011.08.079
10. Experience-Dependent Adult Cortical Plasticity Requires Cognitive Association between Sensation and Reward / D.T. Blake [et al.] // *Neuron*. 2006. Vol. 52. № 2. P. 371—381. DOI:10.1016/j.neuron.2006.08.009
11. Experience-Dependent Plasticity in S1 Caused by Noncoincident Inputs / D.T. Blake [et al.] // *Journal of Neurophysiology*. 2005. Vol. 94. № 3. P. 2239—2250. DOI:10.1152/jn.00172.2005
12. Fodor J.A. *The modularity of mind*. Cambridge; London: MIT press, 1983. 144 p.
13. Gaskell M.G., Dumay N. Lexical competition and the acquisition of novel words // *Cognition*. 2003. Vol. 89. № 2. P. 105—132. DOI:10.1016/S0010-0277(03)00070-2
14. Griffiths T.D., Warre J.D. What is an auditory object? // *Nature Reviews Neuroscience*. 2004. Vol. 5. № 11. P. 887—892. DOI:10.1038/nrn1538
15. Hawkins E., Astle D.E., Rastle K. Semantic advantage for learning new phonological form representations // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2015. Vol. 27. № 4. P. 775—786. DOI:10.1162/jocn_a_00730

16. Hippocampus activity differentiates good from poor learners of a novel lexicon / C. Breitenstein [et al.] // *Neuroimage*. 2005. Vol. 25. № 3. P. 958—968. DOI:10.1016/j.neuroimage.2004.12.019
17. Hofstetter S., Friedmann N., Assaf Y. Rapid language-related plasticity: microstructural changes in the cortex after a short session of new word learning // *Brain Structure & Function*. 2017. Vol. 222. № 3. P. 1231—1241. DOI:10.1007/s00429-016-1273-2
18. Kimppa L., Kujala T., Shtyrov Y. Individual language experience modulates rapid formation of cortical memory circuits for novel words // *Scientific Reports*. 2016. Vol. 6. P. 1—10. DOI:10.1038/srep30227
19. Kompus K., Westerhausen R. Increased MMN amplitude following passive perceptual learning with LTP-like rapid stimulation // *Neuroscience Letters*. 2018. Vol. 666. P. 28—31. DOI:10.1016/j.neulet.2017.12.035
20. Kutas M., Federmeier K.D. Thirty Years and Counting: Finding Meaning in the N400 Component of the Event-Related Brain Potential (ERP) [Электронный ресурс] // *Annual Review of Psychology*. 2011. Vol. 62. P. 621—647. URL: <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.psych.093008.131123> (дата обращения: 22.05.2020).
21. Merhav M., Karni A., Gilboa A. Not all declarative memories are created equal: Fast Mapping as a direct route to cortical declarative representations // *Neuroimage*. 2015. Vol. 117. P. 80—92. DOI:10.1016/j.neuroimage.2015.05.027
22. Mestres-Missé A., Rodríguez-Fornells A., Münte T.F. Watching the brain during meaning acquisition [Электронный ресурс] // *Cerebral Cortex*. 2007. Vol. 17. № 8. P. 1858—1866. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhl094> (дата обращения: 22.05.2020).
23. Neural correlates of instrumental learning in primary auditory cortex / D.T. Blake [et al.] // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2002. Vol. 99. № 15. P. 10114—10119. DOI:10.1073/pnas.092278099
24. Neural representations for newly learned words are modulated by overnight consolidation, reading skill, and age / N. Landi [et al.] // *Neuropsychologia*. 2018. Vol. 111. P. 133—144. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2018.01.011
25. Neurophysiological Correlates of Fast Mapping of Novel Words in the Adult Brain / M.J. Vasilyeva [et al.] // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2019. Vol. 13. Article ID 304. 10 p. DOI:10.3389/fnhum.2019.00304
26. Neurophysiological evidence for the interplay of speech segmentation and word-referent mapping during novel word learning / C. François [et al.] // *Neuropsychologia*. 2017. Vol. 98. P. 56—67. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2016.10.006
27. Neurophysiological mechanisms involved in language learning in adults / A. Rodríguez-Fornells [et al.] // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2009. Vol. 364. № 1536. P. 3711—3735. DOI:10.1098/rstb.2009.0130
28. Rapid and automatic speech-specific learning mechanism in human neocortex / L. Kimppa [et al.] // *NeuroImage*. 2015. Vol. 118. P. 282—291. DOI:10.1016/j.neuroimage.2015.05.098
29. Rapid Cortical Plasticity Supports Long-Term Memory Formation / M. Hebscher [et al.] // *Trends in Cognitive Sciences*. 2019. Vol. 23. № 12. P. 989—1002. DOI:10.1016/j.tics.2019.09.009
30. Referent's Lexical Frequency Predicts Mismatch Negativity Responses to New Words Following Semantic Training / A.A. Aleksandrov [et al.] // *Journal of Psycholinguistic Research*. 2019. Vol. 49. № 2. P. 187—198. DOI:10.1007/s10936-019-09678-3
31. Richness of information about novel words influences how episodic and semantic memory networks interact during lexicalization / A. Takashima [et al.] // *NeuroImage*. 2014. Vol. 84. P. 265—278. DOI:10.1016/j.neuroimage.2013.08.023
32. Sasaki Y., Nanez J.E., Watanabe T. Advances in visual perceptual learning and plasticity // *Nature Reviews Neuroscience*. 2010. Vol. 11. № 1. P. 53—60. DOI:10.1038/nrn2737
33. Seitz A.R., Dinse H.R. A common framework for perceptual learning // *Current Opinion in Neurobiology*. 2007. Vol. 17. № 2. P. 148—153. DOI:10.1016/j.conb.2007.02.004
34. Sharon T., Moscovitch M., Gilboa A. Rapid neocortical acquisition of long-term arbitrary associations independent of the hippocampus // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2011. Vol. 108. № 3. P. 1146—1151. DOI:10.1073/pnas.1005238108
35. Shtyrov Y. Fast mapping of novel word forms traced neurophysiologically [Электронный ресурс] // *Frontiers in Psychology*. 2011. Vol. 2. Article ID 340. P. 1—9. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2011.00340/full> (дата обращения: 22.05.2020).
36. Shtyrov Y., Kirsanov A., Shcherbakova O. Explicitly Slow, Implicitly Fast, or the Other Way Around? Brain Mechanisms for Word Acquisition // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2019. Vol. 13. Article ID 116. 4 p. DOI:10.3389/fnhum.2019.00116
37. Shtyrov Y., Nikulin V. V., Pulvermuller F. Rapid Cortical Plasticity Underlying Novel Word Learning // *Journal of Neuroscience*. 2010. Vol. 30. № 50. P. 16864—16867. DOI:10.1523/jneurosci.1376-10.2010
38. Sleep spindle activity is associated with the integration of new memories and existing knowledge / J. Tamminen [et al.] // *Journal of Neuroscience*. 2010. Vol. 30. № 43. P. 14356—14360. DOI:10.1523/JNEUROSCI.3028-10.2010
39. Yue J., Bastiaanse R., Alter K. Cortical plasticity induced by rapid Hebbian learning of novel tonal word-forms: Evidence from mismatch negativity // *Brain and Language*. 2014. Vol. 139. P. 10—22. DOI:10.1016/j.bandl.2014.09.007

References

1. Borovsky A., Kutas M., Elman J.L. Getting it right: Word learning across the hemispheres Arielle. *Neuropsychologia*, 2013. Vol. 51, no. 5, pp. 825—837. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2013.01.027
2. Carey S., Bartlett E. Acquiring a single new word. *Papers and Reports on Child Language Development*, 1978. Vol. 15, pp. 17—29.
3. Davis M.H., Gaskell M.G. A complementary systems account of word learning: neural and behavioural evidence. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 2009. Vol. 364, no. 1536, pp. 3773—3800. DOI:10.1098/rstb.2009.0111
4. DeWitt I., Rauschecker J.P. Phoneme and word recognition in the auditory ventral stream. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012. Vol. 8, no. 109, pp. 505—514. DOI:10.1073/pnas.1113427109
5. Fargier R. et al. Differentiating semantic categories during the acquisition of novel words: Correspondence analysis applied to event-related potentials. *Journal of cognitive neuroscience*, 2014. Vol. 26, no. 11, pp. 2552—2563. DOI:10.1162/jocn_a_00669
6. Dumay N., Gaskell M.G. Sleep-associated changes in the mental representation of spoken words: Research report. *Psychological Science*, 2007. Vol. 18, no. 1, pp. 35—39. DOI:10.1111/j.1467-9280.2007.01845.x
7. Yue J. et al. Early access to lexical-level phonological representations of Mandarin word-forms: evidence from auditory N1 habituation. *Language, Cognition and Neuroscience*, 2017. Vol. 32, no. 9, pp. 1148—1163. DOI:10.1080/23273798.2017.1290261
8. Bosshardt S. et al. Effects of memory consolidation on human hippocampal activity during retrieval. *Cortex*, 2005. Vol. 41, no. 4, pp. 486—498. DOI:10.1016/S0010-9452(08)70189-8
9. Engell A.D., Huettel S., McCarthy G. The fMRI BOLD signal tracks electrophysiological spectral perturbations, not event-related potentials. *NeuroImage*, 2012. Vol. 59, no. 3, pp. 2600—2606. DOI:10.1016/j.neuroimage.2011.08.079
10. Blake D.T. et al. Experience-Dependent Adult Cortical Plasticity Requires Cognitive Association between Sensation and Reward. *Neuron*, 2006. Vol. 52, no. 2, pp. 371—381. DOI:10.1016/j.neuron.2006.08.009
11. Blake D.T. et al. Experience-Dependent Plasticity in S1 Caused by Noncoincident Inputs. *Journal of Neurophysiology*, 2005. Vol. 94, no. 3, pp. 2239—2250. DOI:10.1152/jn.00172.2005
12. Fodor J.A. *The modularity of mind*. Cambridge; London: MIT press, 1983. 144 p.
13. Gaskell M.G., Dumay N. Lexical competition and the acquisition of novel words. *Cognition*, 2003. Vol. 89, no. 2, pp. 105—132. DOI:10.1016/S0010-0277(03)00070-2
14. Griffiths T.D., Warre J.D. What is an auditory object? *Nature Reviews Neuroscience*, 2004. Vol. 5, no. 11, pp. 887—892. DOI:10.1038/nrn1538
15. Hawkins E., Astle D.E., Rastle K. Semantic advantage for learning new phonological form representations. *Journal of cognitive neuroscience*, 2015. Vol. 27, no. 4, pp. 775—786. DOI:10.1162/jocn_a_00730
16. Breitenstein C. et al. Hippocampus activity differentiates good from poor learners of a novel lexicon. *NeuroImage*, 2005. Vol. 25, no. 3, pp. 958—968. DOI:10.1016/j.neuroimage.2004.12.019
17. Hofstetter S., Friedmann N., Assaf Y. Rapid language-related plasticity: microstructural changes in the cortex after a short session of new word learning. *Brain Structure & Function*, 2017. Vol. 222, no. 3, pp. 1231—1241. DOI:10.1007/s00429-016-1273-2
18. Kimppa L., Kujala T., Shtyrov Y. Individual language experience modulates rapid formation of cortical memory circuits for novel words. *Scientific Reports*, 2016. Vol. 6, pp. 1—10. DOI:10.1038/srep30227
19. Kompus K., Westerhausen R. Increased MMN amplitude following passive perceptual learning with LTP-like rapid stimulation. *Neuroscience Letters*, 2018. Vol. 666, pp. 28—31. DOI:10.1016/j.neulet.2017.12.035
20. Kutas M., Federmeier K.D. Thirty Years and Counting: Finding Meaning in the N400 Component of the Event-Related Brain Potential (ERP) [Elektronnyi resurs]. *Annual review of psychology*, 2011. Vol. 62, pp. 621—647. URL: <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.psych.093008.131123> (Accessed 22.05.2020).
21. Merhav M., Karni A., Gilboa A. Not all declarative memories are created equal: Fast Mapping as a direct route to cortical declarative representations. *NeuroImage*, 2015. Vol. 117, pp. 80—92. DOI:10.1016/j.neuroimage.2015.05.027
22. Mestres-Missé A., Rodriguez-Fornells A., Münte T.F. Watching the brain during meaning acquisition [Elektronnyi resurs]. *Cerebral Cortex*, 2007. Vol. 17, no. 8, pp. 1858—1866. URL: <https://doi.org/10.1093/cercor/bhl094> (Accessed 22.05.2020).
23. Blake D.T. et al. Neural correlates of instrumental learning in primary auditory cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2002. Vol. 99, no. 15, pp. 10114—10119. DOI:10.1073/pnas.092278099
24. Landi N. et al. Neural representations for newly learned words are modulated by overnight consolidation, reading skill, and age. *Neuropsychologia*, 2018. Vol. 111, pp. 133—144. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2018.01.011
25. Vasilyeva M.J. et al. Neurophysiological Correlates of Fast Mapping of Novel Words in the Adult Brain. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2019. Vol. 13, article ID 304, 10 p. DOI:10.3389/fnhum.2019.00304
26. François C. et al. Neurophysiological evidence for the interplay of speech segmentation and word-referent mapping during novel word learning. *Neuropsychologia*, 2017. Vol. 98, pp. 56—67. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2016.10.006

27. Rodriguez-Fornells A. et al. Neurophysiological mechanisms involved in language learning in adults. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2009. Vol. 364, no. 1536, pp. 3711—3735. DOI:10.1098/rstb.2009.0130
28. Kimppa L. et al. Rapid and automatic speech-specific learning mechanism in human neocortex. *NeuroImage*, 2015. Vol. 118, pp. 282—291. DOI:10.1016/j.neuroimage.2015.05.098
29. Hebscher M. et al. Rapid Cortical Plasticity Supports Long-Term Memory Formation. *Trends in Cognitive Sciences*, 2019. Vol. 23, no. 12, pp. 989—1002. DOI:10.1016/j.tics.2019.09.009
30. Aleksandrov A.A. et al. Referent's Lexical Frequency Predicts Mismatch Negativity Responses to New Words Following Semantic Training. *Journal of Psycholinguistic Research*, 2019. Vol. 49, no. 2, pp. 187—198. DOI:10.1007/s10936-019-09678-3
31. Takashima A. et al. Richness of information about novel words influences how episodic and semantic memory networks interact during lexicalization. *NeuroImage*, 2014. Vol. 84, pp. 265—278. DOI:10.1016/j.neuroimage.2013.08.023
32. Sasaki Y., Nanez J.E., Watanabe T. Advances in visual perceptual learning and plasticity. *Nature Reviews Neuroscience*, 2010. Vol. 11, no. 1, pp. 53—60. DOI:10.1038/nrn2737
33. Seitz A.R., Dinse H.R. A common framework for perceptual learning. *Current Opinion in Neurobiology*, 2007. Vol. 17, no. 2, pp. 148—153. DOI:10.1016/j.conb.2007.02.004
34. Sharon T., Moscovitch M., Gilboa A. Rapid neocortical acquisition of long-term arbitrary associations independent of the hippocampus. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2011. Vol. 108, no. 3, pp. 1146—1151. DOI:10.1073/pnas.1005238108
35. Shtyrov Y. Fast mapping of novel word forms traced neurophysiologically [Elektronnyi resurs]. *Frontiers in Psychology*, 2011. Vol. 2, article ID 340, pp. 1—9. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2011.00340/full> (Accessed 22.05.2020).
36. Shtyrov Y., Kirsanov A., Shcherbakova O. Explicitly Slow, Implicitly Fast, or the Other Way Around? Brain Mechanisms for Word Acquisition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2019. Vol. 13, article ID 116, 4 p. DOI:10.3389/fnhum.2019.00116
37. Shtyrov Y., Nikulin V.V., Pulvermuller F. Rapid Cortical Plasticity Underlying Novel Word Learning. *Journal of Neuroscience*, 2010. Vol. 30, no. 50, pp. 16864—16867. DOI:10.1523/JNEUROSCI.1376-10.2010
38. Tamminen J. et al. Sleep spindle activity is associated with the integration of new memories and existing knowledge. *Journal of Neuroscience*, 2010. Vol. 30, no. 43, pp. 14356—14360. DOI:10.1523/JNEUROSCI.3028-10.2010
39. Yue J., Bastiaanse R., Alter K. Cortical plasticity induced by rapid Hebbian learning of novel tonal word-forms: Evidence from mismatch negativity. *Brain and Language*, 2014. Vol. 139, pp. 10—22. DOI:10.1016/j.bandl.2014.09.007

Информация об авторах

Разоренова Александра Михайловна, аспирант, центр вычислительных систем и анализа данных в науке и технике (CDISE), Сколковский институт науки и технологий (Сколтех); младший научный сотрудник, Центр нейрочислительных исследований (МЭГ-центр), Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3386-6914>, e-mail: razoral@ya.ru

Скавронская Валерия Владимировна, младший научный сотрудник Центра нейрочислительных исследований (МЭГ-центр), Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0093-6592>, e-mail: skavronskaya.valerie@mail.ru

Тюленев Никита Борисович, младший научный сотрудник Центра нейрочислительных исследований (МЭГ-центр), Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1214-7478>, e-mail: tnb6@yandex.ru

Рытикова Анна Менашевна, кандидат технических наук, младший научный сотрудник Центра нейрочислительных исследований (МЭГ-центр), Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0153-9457>, e-mail: ann.zelener@mail.ru

Чернышев Борис Владимирович, кандидат биологических наук, руководитель Центра нейрочислительных исследований (МЭГ-центр), Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ); доцент кафедры высшей нервной деятельности биологического факультета, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ имени М.В. Ломоносова); доцент департамента психологии факультета социальных наук, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8267-3916>, e-mail: b_chernysh@mail.ru

Information about the authors

Alexandra M. Razorenova, Postgraduate Student, Center for Computational and Data-Intensive Science and Engineering (CDISE), Skolkovo Institute of Science and Technology, Junior researcher, Center for Neurocognitive Research (MEG center), Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3386-6914>, e-mail: razoral@ya.ru

Valeriya V. Skavronskaya, Junior Researcher, Center for Neurocognitive Research (MEG Center), Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0093-6592>, e-mail: skavronskaya.valerie@mail.ru

Nikita B. Tyulenev, Junior Researcher, Center for Neurocognitive Research (MEG Center), Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1214-7478>, e-mail: tnb6@yandex.ru

Anna M. Rytikova, PhD in Engineering, Junior Researcher, Center for Neurocognitive Research (MEG Center), Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0153-9457>, e-mail: ann.zelener@mail.ru

Boris V. Chernyshev, PhD in Biology, Head of the Center for Neurocognitive Research (MEG-center), Moscow State University of Psychology & Education; Associate Professor, Department of Higher Nervous Activity, Faculty of Biology, Lomonosov Moscow State University; Associate Professor, Department of Psychology, National Research University Higher School of Economics, Moscow Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8267-3916>, e-mail: b_chernysh@mail.ru

Получена 01.04.2020

Received 01.04.2020

Принята в печать 08.05.2020

Accepted 08.05.2020

НЕЙРОНАУКИ NEUROSCIENCES

Сенсорная депривация как модель реализации компенсаторных ресурсов мозга: обзор зарубежных исследований

Разумникова О.М.

Новосибирский государственный технический университет (ФГБОУ ВО НГТУ),
г. Новосибирск, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7831-9404>, e-mail: razoum@mail.ru

Кривоногова К.Д.

Новосибирский государственный технический университет (ФГБОУ ВО НГТУ),
г. Новосибирск, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4773-0396>, e-mail: kseniansk123@gmail.com

Понятия «когнитивные» или «компенсаторные резервы мозга» предложены для объяснения широкого индивидуального разнообразия в изменениях когнитивных функций при старении и используются для изучения адаптивной реорганизации нейронных систем мозга при нарушении его функций вследствие разнообразных патологических процессов, в том числе — депривации зрительной или слуховой информации. Развитие томографических методов оценки объема и функциональной активности отдельных структур мозга позволило получить новые сведения о механизмах нейропластичности, обусловленной сенсорной депривацией. В литературном обзоре приведены данные, свидетельствующие о кросс-модальном развитии структур мозга для обеспечения процессов восприятия и обработки стимулов внешней среды на основе компенсаторного замещения отсутствующей сенсорной функции и возможного повышения эффективности деятельности сохранных анализаторных систем. Описанные закономерности формирования и стимуляции компенсаторных резервов важны для понимания фундаментальных основ деятельности мозга, а с практической точки зрения — для совершенствования программ обучения или разработки способов коррекции негативных эффектов старения мозга или его повреждения.

Ключевые слова: сенсорная депривация, компенсаторные резервы, нарушения зрения, нарушения слуха, нейропластичность, кросс-модальная реорганизация сенсорных систем.

Для цитаты: Разумникова О.М., Кривоногова К.Д. Сенсорная депривация как модель реализации компенсаторных ресурсов мозга: обзор зарубежных исследований [Электронный ресурс] // Современная зарубежная психология. 2020. Том 9. № 2. С. 57—67. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090105>

Sensory deprivation as a model for the actualizing compensatory brain resources

Razumnikova O.M.

Novosibirsk State Technical University,
Novosibirsk, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7831-9404>, e-mail: razoum@mail.ru

Krivanogova K.D.

Novosibirsk State Technical University,
Novosibirsk, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4773-0396>, e-mail: kseniansk123@gmail.com

The concepts of «cognitive» or «compensatory brain reserves» are proposed to explain a wide individual variability of changes in cognitive functions during aging and are used to study the adaptive reorganization of the neural systems of the brain in damages of its functions due to various pathological processes, including deprivation of

visual or auditory information. The development of tomographic methods for estimating the volume and functional activity of individual brain structures made it possible to obtain new information on the mechanisms of neuroplasticity caused by sensory deprivation. The literature review provides evidences of the cross-modal development of brain structures to ensure the processes of perception and processing of environmental stimuli based on compensatory replacement of the missing sensory function and a possible increase in the effectiveness of the activity of the analyzer systems. The described patterns of formation and stimulation of compensatory reserves are important for understanding the fundamentals of brain activity, and from a practical point of view, for improving training programs or developing methods for correcting the negative effects of brain aging or damage.

Keywords: sensory deprivation, compensatory reserves, visual impairment, hearing impairment, neuroplasticity, cross-modal reorganization of sensory systems.

For citation: Razumnikova O.M., Krivonogova K.D. Sensory deprivation as a model for the actualizing compensatory brain resources [Elektronnyi resurs]. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya = Journal of Modern Foreign Psychology*, 2020. Vol. 9, no. 2, pp. 57—67. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090205> (In Russ.)

Введение

Понятия «когнитивные резервы» или «компенсаторные резервы» мозга введены в терминологию как инструмент для объяснения широкого индивидуального разнообразия в изменениях когнитивных функций при старении. Они используются для изучения компенсаторных механизмов, позволяющих адаптироваться при развитии патологических процессов в мозге, и отражают структурные (размер мозга или количество синапсов) и функциональные (разнообразие и пластичность функциональных нейронных ансамблей) особенности мозга [32; 33]. Эти характерные особенности формируются и продолжают развиваться или, напротив, «расходиться» в онтогенезе в зависимости от воспитания, образования, стиля жизни и имеющихся задатков.

Такая пластичность нейронных систем мозга обеспечивает не только эффективное приспособление человека к постоянно изменяющейся жизненной среде, но и ее преобразование. Изучение механизмов нейропластичности и возможностей стимуляции когнитивных резервов актуально не только для понимания фундаментальных основ деятельности мозга, но и, с практической точки зрения, для совершенствования программ обучения и профессионального выбора или разработки путей и способов коррекции негативных эффектов старения мозга или нейрореабилитации пациентов, имеющих мозговые повреждения.

Достижения нейробиологии последних лет, особенно доказательства нейрогенеза во взрослом мозге и влияния на этот процесс эпигенетического фактора [37], свидетельствуют о широких возможностях актуализации резервов мозга на основе стимуляции механизмов нейропластичности и формирования новых функциональных систем.

Анализ последствий сенсорной депривации, особенно депривации на ранних этапах развития мозга, можно рассматривать как модель реализации нейропластичности, обусловленной кросс-модальной перестройкой функциональных нейронных сетей для адаптации организма в соответствующей информационной среде.

Так, потеря зрения влечет за собой изменения в способностях к перемещению в пространстве, поиску объектов, чтению, распознаванию людей и общению с ними без доступа к таким невербальным признакам их состояния, как взгляд или выражение лица. Однако и слепые, и глухие, потерявшие возможность распознавания звуков и формирования речи, могут адаптироваться и эффективно функционировать в своей жизненной среде.

Какая же когнитивная реструктуризация необходима для создания пространственных представлений слепых с использованием только слуховой информации? Или как могут говорить и петь глухие? Какие преобразования происходят в функциональных системах мозга, когда их специализированные для обработки зрительной или слуховой информации структуры не получают этой стимуляции? Как в таких условиях происходит формирование внимания, памяти и других когнитивных функций?

Отвечив на эти вопросы, мы поймем закономерности нейропластичности, формирования и реализации компенсаторных резервов мозга, что интересно не только теоретически, но и с позиций осознания возможностей развития новых подходов и новых методов реабилитации людей с поражением сенсорных систем или поражением мозга вследствие инсульта, опухоли или травмы.

Наряду с «классическим» подходом — образовательными программами для обучения слепых детей тому, как распознавать и эффективно использовать тактильные или звуковые сигналы для ориентации в пространстве, а глухих — для обучения пониманию и воспроизведению речи, все шире используются технические методы реабилитации, направленные не только на компенсацию, но и на восстановление утраченных сенсорных функций.

Разработка эффективных нейропротезов для восстановления зрительных или слуховых функций невозможна без понимания нейронных основ обработки и мультисенсорной интеграции информации разной модальности и роли индивидуальных особенностей и временной динамики механизмов нейропластичности.

Компенсаторные ресурсы мозга при сенсорной депривации в зрительной системе

Обработка зрительной информации имеет большое значение в поведении человека, благодаря этому этого в организации зрительных функций принимает участие до 40% поверхности коры, охватывая не только окципитальные, но париетальные, темпоральные и фронтальные области [21]. Зрительная система организована топографически специализированными зонами, предназначенными для разных функций. Например, дорзальный зрительный пучок специализирован в обработке зрительно-пространственной и зрительно-моторной информации, тогда как вентральный путь — в опознавании объектов, в том числе фузиформная кора — в опознавании лиц. Такая диссоциация функций двух зрительных путей сохраняется и после потери зрения: дорзальный активируется при выполнении пространственных задач с опорой на слуховые и тактильные сигналы. При отсутствии зрительной информации зрительная кора может получать информацию от оставшихся интактными сенсорных систем и участвовать в организации когнитивных функций, например, памяти или речи. Однако эти функции обеспечивают новые нейронные системы, отличающиеся от тех, которые формируются при интактном зрении: например, снижением плотности межполушарных связей в первичной и ассоциативной зрительной коре [15], тогда как в височной коре связь контралатеральных областей, напротив, возрастает [1].

Следовательно, отсутствие информации одной из модальностей является триггером реорганизации сенсорной коры для компенсаторного обеспечения обработки той информации, которая поступает в мозг [20].

Функциональная специализация мозга человека формируется на основе обработки информации, в первую очередь, в зрительно-слуховом пространстве с доминированием зрительной модальности на ранних этапах развития, что оказывает влияние на последующее формирование сенсорных систем [30].

Вследствие этого при нарушениях нормального процесса совмещения обработки зрительной и слуховой информации следует ожидать изменений и в способностях к звуковой локализации. Действительно, при поражении зрительной системы нейронные ансамбли зрительной коры перестраиваются для повышения эффективности слуховой системы (в том числе — дискриминации звуков, слуховой чувствительности и обеспечения пространственной координации) [18].

Такие компенсаторные процессы приводят к расширению территории корковых областей, участвующих в обработке слуховых сигналов, и к соответствующему улучшению слуховых способностей [20]. В результате не только слуховая, но и тактильная, и обонятельная системы приобретают более широкое представительство в мозге слепых людей [30].

Участие зрительной коры мозга слепых людей в обработке незрительной информации доказано резуль-

татами многочисленных исследований. Последние данные свидетельствуют, что кросс-модальная реорганизация при зрительной депривации касается не только нейронных систем и их функциональной специализации, но и изменений в структуре зрительной коры, которые могут служить маркерами поведенческой адаптации [39].

Вследствие нейропластичности мозга его архитектура и функции изменяются на протяжении всей жизни.

Эти изменения происходят на разных уровнях: от отдельного нейрона и организации нейронных сетей до функций нервной системы в целом — и отражаются на поведенческом уровне, в том числе — показателями когнитивных функций. Потенциал нейропластичности отличается для разных структур мозга: высокая степень нейропластичности отмечена для гиппокампа, ассоциативных унимодальных и мультисенсорных областей коры [6].

Наряду с такими регионарными особенностями нейропластичность зависима и от индивидуальных особенностей строения мозга, и от истории синаптической активности в процессе его развития не только в раннем детстве, но и во взрослом состоянии.

При этом возможны разные формы пластичности: формирование новых функциональных систем, как это происходит в детстве, или реорганизация ранее сформированных систем в зрелые годы жизни.

При поздней потере сенсорной чувствительности, патологическом поражении мозга или возрастной атрофии нервных клеток компенсаторный результат может быть опосредован разными путями с доминированием или маскировкой каждого из них в зависимости от перечисленных выше факторов.

Реорганизация структур мозга и их связей у рано ослепших лиц показана с использованием фМРТ и вычисления фракционной анизотропии [23]. У слепых по сравнению со зрячей контрольной группой обнаружено уменьшение объема и толщины коры в затылочных и височных областях при увеличении теменных областей. У слепых также отмечено усиление связей лобных и височных областей, вовлеченных в речевые процессы. Этот эффект был представлен увеличением числа нервных волокон преимущественно в левом полушарии. Вместе с этим связность лобной и сомато-сенсорной, как и затылочной и сингулярной коры, снижалась [15].

При ранней слепоте реорганизация структур мозга приводит к дополнительному развитию слуховых, тактильных или обонятельных способностей и вследствие этого к лучшему распознаванию и запоминанию соответствующей информации, а также — к развитию на этой основе более сложных когнитивных функций: пространственной навигации, распознавания речи и вербальной памяти [6; 22].

Таким образом среди специалистов, наряду с гипотезой о глобальном нарушении функций мозга при ранней сенсорной депривации, наблюдается тенденция к признанию тезиса об альтернативном компенса-

торно-дополнительном развитии тех чувств, которые остались сохранными.

Действительно, реорганизация структур и систем мозга вследствие потери способности к обработке информации какой-либо одной модальности включает комплекс кросс-модальных, интра-модальных, мульти-модальных и супер-модальных изменений, обеспечивающих новые формы мультисенсорной интеграции поступающей информации, которая является базовым процессом работы мозга [7; 9].

Показано, например, что повышение тактильной чувствительности обеспечивает успешное усвоение чтения по Брайлю. Обнаруженное нарушение эффективности такого чтения, как и выполнения задания на генерацию глаголов вследствие транскортикальной магнитной стимуляции окципитальной коры, является доказательством кросс-модальной реорганизации функций этой части мозга.

Активация зрительных областей коры у слепых людей отмечена также при слуховом запоминании слов, причем эффективность такого запоминания выше, чем у зрячих людей, и коррелирует с уровнем такой активации [6].

Нейронные структуры зрительной коры вовлекаются в различные процессы обработки слуховых стимулов: дискриминацию звуков, определение их пространственного расположения и движения, а также в организацию речи и вербальной памяти [22]. Эффект вовлечения окципитальной коры в организацию речевых процессов и памяти у слепых людей сопровождается снижением ее функциональных связей с моторными и теменными областями коры, но повышением — с фронтальными речевыми зонами.

В литературе отмечается также возможность реорганизации связности зрительной и слуховой коры, так как выполнение слухового задания у рано ослепших лиц сопровождается повышением совместной активации в этих областях [31] или крупномасштабной реорганизацией корковых областей с потерей их сенсорной специализации для языковых или зрительных функций, обнаруженной в другом исследовании врожденной слепоты [1]. Изменения функциональной архитектуры задних отделов мозга у слепых показаны с использованием регистрации электрической активности коры при восприятии специально разделенных акустических и лингвистических характеристик речи. Установлено повышение синхронизации тета-осцилляций в парието-окципитальных областях коры в ответ на ритм речи независимо от ее содержания и синхронизации активности височных и затылочных областей соответственно пониманию речи [25]. Следовательно, сети мозга, которые обычно предназначены для интеграции характеристик аудиовизуального речевого сигнала, могут быть реорганизованы в отсутствие визуальных стимулов с расширением речевой обработки в затылочной коре.

Формирование пространственной памяти включает изобразительный и описательный форматы. В первом

случае репрезентация объекта основана на специфичных соотношениях его частей, а во втором — на словесном описании объекта для запоминания [2]. Хорошо известна модель кратковременной памяти, предложенная А. Бэддели [4], которая включает три подсистемы: центральный исполнительный компонент, обеспечивающий доступ к сохраненной информации; фонологический цикл вербальной рабочей памяти и визуально-пространственная рабочая память. В связи с этим возникает вопрос, как представлена кратковременная память и мысленное представление у слепых?

Есть данные в пользу того, что слепые люди способны хранить и обрабатывать мысленные образы и представления пространственной информации, используя оставшиеся сенсорные модальности, чтобы заменить видение в процессах ментальных образов. Однако такие пространственные представления требуют больших затрат времени по сравнению со зрячими людьми, и эффективность пространственной памяти существенно снижается при увеличении сложности задания [2; 30]. Прослушивание позволяет предоставлять сложную информацию, имеющую как семантический, так и несмысловой звуковой контент разной сложности содержания. Возникающие проблемы обусловлены тем, что слепые в большей степени фокусируются на расположении стимулов, чем на их содержании, а при понимании семантического смысла информации ускользает ее последовательность. Улучшение запоминания с использованием семантической информации происходит только тогда, когда на основе исследования удается сформировать целостное представление об окружающем пространстве. Еще одним фактором эффективности запоминания является используемая стратегия. Уже на ранних этапах развития зрительной системы происходит формирование пространственных координат объектов, и для запоминания расположения объектов используется аллоцентрическая стратегия, которая нарушается вследствие врожденной слепоты.

Интенсивное использование томографических методов исследования строения и функций мозга в последнее время позволило доказать, что следствием сенсорной депривации является атрофия как серого, так и белого вещества в зрительной коре слепых.

Однако наряду с общим снижением толщины зрительной коры при ранней слепоте в отдельных ее областях обнаруживается, напротив, увеличение толщины коры и содержания миелина. Эти нейроанатомические показатели предлагается рассматривать как маркеры компенсаторной нейропластичности в результате сенсорной депривации [39].

Вопрос о том, как формируются кросс-модальные связи коры и подкорковых структур у слепых лиц, вследствие образования новых или усиления уже имеющихся путей, пока еще остается открытым [23; 39].

Хотя возраст утраты зрения имеет существенное значение для кросс-модальной пластичности мозга и способов изменения процессов восприятия, необходимо отметить, что улучшение локализации звука наблю-

далось и при ранней, и при поздней визуальной депривации, и даже при кратковременном нарушении («выпадении») зрения на несколько дней [18].

Реорганизация корковых областей происходит по-разному: и количественно, и качественно — в зависимости от времени потери зрения (стадии онтогенеза). Показано, например, что при врожденной слепоте формируются связи первичных зон слуховой и зрительной коры (рис. 1 А), а при поздней — через парietoльные области (IPS на рис. 1 Б) [16].

Эффективность реорганизации коры и использования зрительных стратегий при поздней потере зрения зависит от степени развития зрительной системы вследствие ранее приобретенного опыта.

Механизмы такой гибкой перестройки функциональных связей при выключении одной из сенсорных систем пока не ясны. Имеются данные, свидетельствующие о том, что сензитивный период формирования кросс-модальной пластичности заканчивается к периоду полового созревания, или о возможностях реорганизации зрительной коры при более позднем наступлении слепоты [6].

Несмотря на то, что сенсорная потеря вызывает нейропластичные изменения у всех людей, возраст возникновения нарушения влияет на тип, степень и механизмы этих изменений и, соответственно, на поведенческие результаты.

При этом даже эквивалентные функциональные результаты не обязательно поддерживаются одними и теми же базовыми механизмами.

Например, вовлечение затылочной коры в тактильную дискриминацию у недавно ослепших или зрячих, но с завязанными на неделю глазами [22] может быть результатом активации уже существующих, но заторможенных в нормальных условиях функциональных связей зрительной коры.

Условия формирования таких «замаскированных» связей и их активации пока не ясны.

Следовательно, компенсаторные возможности разных популяций слепых людей нельзя рассматривать как эквивалентные, так как они принципиально зависят от времени и условий повреждения зрительной системы. Изменчивость пластичности развития мозга и нейропластичности взрослого человека обязательно должна учитываться при разработке программ реабилитации отдельных физических лиц, в том числе с использованием сенсорного замещения.

Разработка и развитие интерфейсов «человек—компьютер» дает слепым новые возможности методов чтения и мобильности передвижения. Созданы разные системы зрительного замещения, основанные на принципах кросс-модального восприятия тактильных или слуховых сигналов [34; 36]. На рис. 2 схематично представлены особенности такого сенсорного замещения для тактильного (рис. 2 А) и слухового (рис. 2 Б) восприятия.

Разработаны также электронные приборы с использованием акустического или оптического (лазерного луча) сигнала, которые позволяют передавать пространственную информацию о препятствиях и объектах в окружении через вибротактильные или слуховые сигналы [6].

Функциональное значение нейропластичности для социальной адаптации продемонстрировано повышением реактивности билатерально фузиформной коры и правой части верхней височной извилины в ответ на голос, используемый для опознавания других при врожденной слепоте [27].

При сохранном зрении эти области являются центральными в системе организации социального поведения с ориентацией на опознавание лиц, включая эмоциональную экспрессию. Имеются также данные об усилении связей зрительной коры у слепых с фронтальными и парietoльными областями коры, вовлеченными в организацию когнитивных функций. Вследствие этого наблюдаемую активацию окципи-

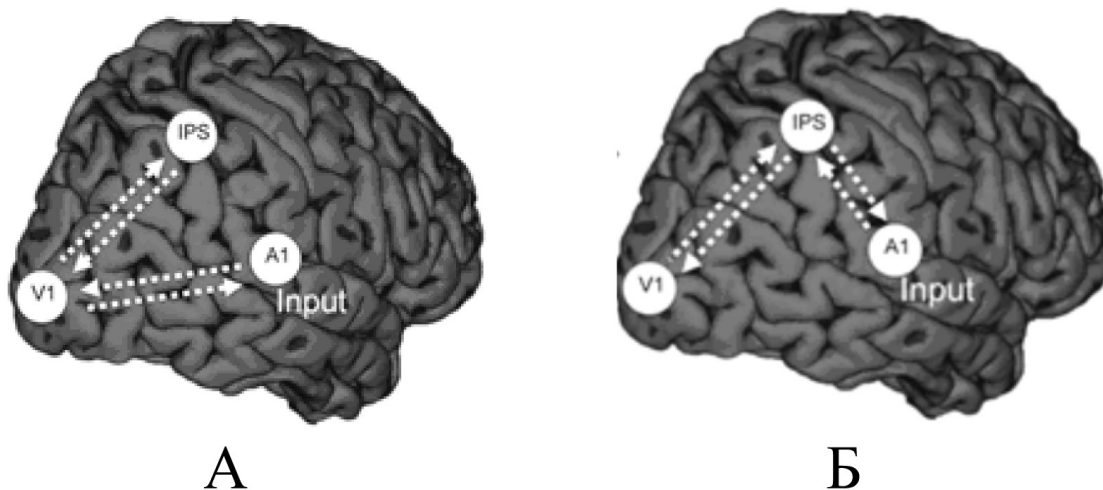


Рис. 1. Схематичное представление функционального взаимодействия первичных зон слуховой (A1) и зрительной (V1) коры при врожденной (А) и поздней (Б) слепоте [16]

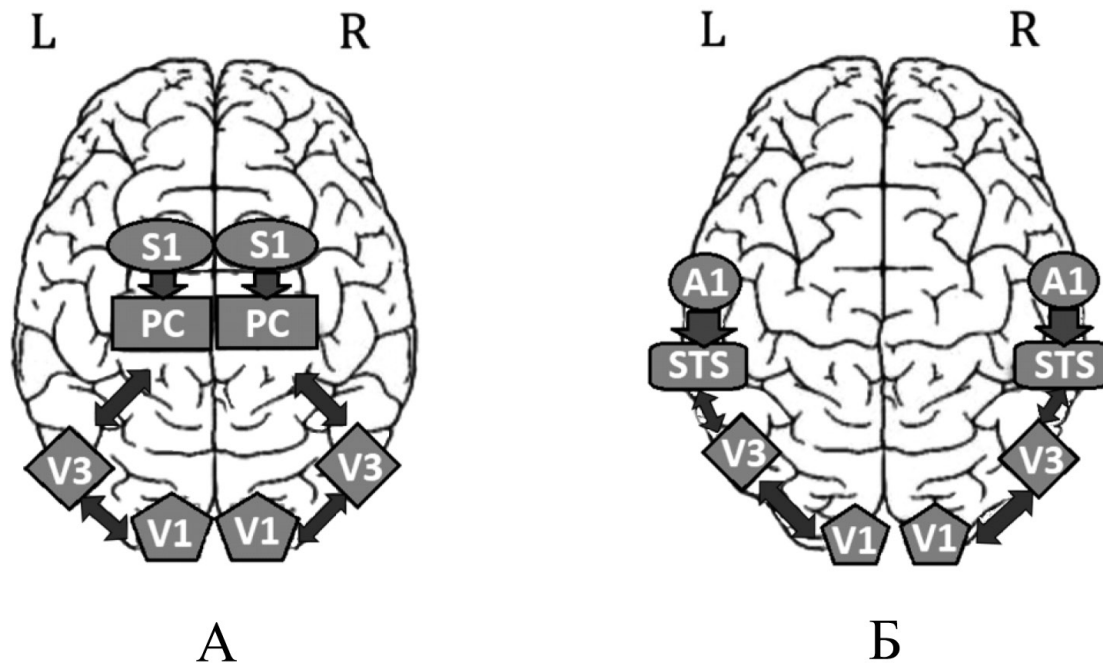


Рис. 2. Рис. 2. Схематичное представление тактильно-зрительного (А) и слухо-зрительного замещения (Б) [34]: V1, V3 — первичные и ассоциативные зрительные поля, соответственно; S1 — устройство тактильного восприятия; PC и STS — теменная и височные области коры; A1 — устройство слухового восприятия; PC и STS — теменная и височные области коры

тальных областей, вызванную выполнением слуховых заданий, связывают с исполнительным контролем внимания («top-down») у слепых людей [18].

Механизмы кросс-модальной реорганизации сенсорных систем остаются актуальным направлением изучения закономерностей функциональной активности мозга в связи с невыясненными пока вопросами о том, как развиваются компенсаторные процессы при более поздней потере зрения или слуха, или восстановлении после лечения.

Какова временная динамика этих процессов: начального периода поражения системы, длительности патологического состояния и скорости восстановления?

Еще один важный вопрос — объяснение индивидуальной вариабельности нейропластичности: какими факторами она объясняется, и какие когнитивные и поведенческие реакции могут быть компенсированы вследствие использования ресурсов мозга.

Компенсаторные ресурсы мозга при сенсорной депривации в слуховой системе

Согласно данным ВОЗ, в мире около 278 миллионов человек страдают умеренной или глубокой двусторонней потерей слуха (глубокая потеря слуха определяется как неспособность отреагировать на тон с частотой 90 дБ или больше) [22].

Этиология глухоты разнообразна и включает как наследственные причины, так и травмы или инфекции. При старении может развиваться «двойная» сенсорная потеря: и слуха, и зрения.

Не только причинная, но и временная (начало и время развития) гетерогенность сенсорных нарушений создают значительные трудности в интерпретации экспериментальных данных. Специфичность выборки, т. е. воспитание в семьях глухих родителей и раннее усвоение языка жестов, является дополнительным фактором вариабельности в приспособлении сенсорных систем.

Кросс-модальная пластичность проявляется как реорганизация функциональных систем мозга при разных видах сенсорной депривации, в том числе при глухоте [9; 19], и затрагивает не только корковые области, но и таламокортикальные связи [14].

Кросс-модальная пластичность рассматривается, с одной стороны, как адаптивная вследствие использования улучшенных зрительных или слуховых навыков, соответственно у глухих или слепых людей. С другой стороны, кросс-модальная пластичность создает проблемы для сенсорного восстановления и воспринимается с позиций нейрореабилитации как неадаптивная, поэтому в перспективе улучшения конечных результатов адаптации предлагается учитывать взаимное дополнение нейронной специализации и нейронной пластичности [13].

Эта проблема актуальна, например, при восстановлении слуха с помощью кохлеарных имплантов, так как имеется ряд доказательств того, что слуховая депривация сопровождается кросс-модальной пластичностью не только в организации зрительных путей к слуховой коре, преимущественно правого полушария [10], но и самой реорганизацией слуховой коры. Это заключение основано на данных о том, что функциональная активация была отмечена в одних и тех же областях коры при реализации зрительной версии

задания у глухих и слуховой версии у лиц с нормальным слухом [35], или в слуховой коре — в ответ на зрительную или соматосенсорную стимуляцию [17].

Вместе с этим после восстановления слуха у детей на основе кохлеарных имплантов вызванная речью активность была отмечена в слуховой коре [24].

Хорошо известно, что понимание речи требует интеграции слуховой и зрительной информации [7].

Лица с дефицитом слуха при звуковой стимуляции демонстрируют повышенную активность в областях коры, специализированных для обработки зрительной информации [38]. Глухие лучше, чем слышащие, способны распознавать черты лица и эмоциональную экспрессию [22]. У них также повышается эффективность периферического зрения, причем лучшие способности детекции зрительных стимулов и их дискриминации характерны при предъявлении информации в правое зрительное поле.

Такое преимущество левого полушария рассматривается специалистами в качестве компенсаторного эффекта, относящегося к организации специализированных областей коры как речевых центров при невозможности такой специализации у глухих.

В сравнении со слепыми, у глухих отмечена меньшая степень морфологических изменений в оставшихся интактными сенсорных зонах мозга [22].

Однако имеются доказательства вовлечения слуховых областей коры в обработку вибротактильных и зрительных стимулов, связанных с речевой деятельностью на основе жестов. С использованием томографических методов было показано большее участие окципитальных и париетальных участков коры в процессах внимания глухих по сравнению со слышащими.

Исследования клинических случаев, описывающие особенности жестового языка глухих пациентов, свидетельствуют, что поражения левых височных областей коры приводят к нарушениям понимания языка жестов, согласующихся с представлением о локализации речевых функций слышащих [22].

Имеется сообщение о «жестовой слепоте» глухого после повреждения левой затылочной коры с нарушением понимания, но не воспроизведения жестов, аналогичное алексии. У другого пациента при сходном поражении мозга была отмечена афазия на языке жестов с серьезными нарушениями не только понимания, но и производства слов, а также чтения и письма.

Анализ результатов процедуры реабилитации показал снижение активности слуховой и речевой систем при ее повышении в зрительной и фронтальной областях коры с расширением на мультимодальные области, такие как верхняя височная извилина, интрапариетальная борозда и инсула, толщина коры в которых увеличивалась после использования слухового аппарата в течение года [3].

Таким образом, реорганизация специализированных слуховых височных областей и зрительных затылочных имеет решающее значение для развития речи глухих. Нейропластичность мозга особенно высока на ранних этапах развития. Поэтому чем раньше будет диагностирована глухота и применены кохлеарные

импланты, тем эффективнее будет происходить формирование речевых функций на основе кросс-модальной реорганизации функциональных систем мозга. Сенсорный дефицит раннего периода может быть компенсирован вследствие интенсивного перцептивного и поведенческого обучения [40].

Учитывая повышение вероятности потери зрения или слуха при старении, факт влияния когнитивной тренировки, как и подтверждение потенциала нейропластичности у взрослых [12], указывает на перспективы дальнейшего изучения механизмов реализации компенсаторных возможностей мозга.

Поздняя потеря слуха, отмеченная в 25—46% случаев в возрасте 65—74 лет и в 78—80% у лиц старше 75 лет [8] представляет отдельную проблему. И в этом случае отмечена кросс-модальная реорганизация слуховой и соматосенсорной коры головного мозга, связанная с восприятием речи.

Дети с потерей слуха потенциально уязвимы в отношении психического здоровья [11]. Повышение риска развития эмоциональных и поведенческих проблем, по сравнению с детьми в общей популяции, обусловлено суммацией воздействия ряда факторов: дефицит в усвоении речи влечет за собой трудности в общении, приобретении навыков чтения и, в целом, проблемы в развитии когнитивных способностей и формировании структуры знаний [28].

Особую группу для понимания механизмов кросс-модальной реорганизации представляют лица с мультимодальными сенсорными нарушениями. При потере зрения и слуха тактильные ощущения остаются единственным каналом восприятия пространства и освоения речи. Обнаружено, что идентификация тактильно предъявленных слов ассоциируется с активацией зрительной и слуховой речевых областей мозга, подтверждая возможности нейропластичной адаптации нервной системы [26].

Восприятие и обработка информации в первичной слуховой коре находятся под сильным мультимодальным воздействием. Вследствие этого при обучении формируются ассоциативные связи, основанные на классификации сигналов по признакам их обнаружения, дискриминации и категоризации [5]. Эта иерархия классификаций определяет семантические «одинаковые» отношения между звуками и на основе различных возбуждающих и тормозных механизмов формирует пространственно-временную метрику карты для представления звука. Следовательно, слуховая кора, собирая всю необходимую информацию, функционирует как «семантический процессор», присваивая конкретное значение звукам посредством обучения. При отсутствии звуковых сигналов семантическое картирование может осуществляться с использованием кросс-модальной обработки информации.

Заключение

Обзор литературы позволяет заключить, что депривация зрительных или слуховых сигналов приводит к

кросс-модальной перестройке механизма обработки информации с вовлечением в процесс непредназначенных для этого в норме нейронных структур мозга.

Нейронная пластичность особенно высока в ранние сензитивные периоды структурной специализации отдельных областей мозга. Вследствие этого при врожденной потере зрения или слуха развитие когнитивных функций опирается на имеющиеся нейронные ресурсы мозга и организацию новых функциональных систем для обработки поступающей информации. Информационно обогащенная среда в ранний период жизни позволяет создать многочисленные нейронные связи и, вследствие этого, функционально «гибкие» нейронные системы, которые, с одной стороны, являются основой кросс-модального замещения утерянной сенсорной функции, а с другой — резервным потенциалом мозга при старении и патологическом или травматическом его повреждении в зрелом возрасте. При отсутствии вариативности в окружающей среде кросс-модальная нейропластичность может становиться дезадаптивным фактором, так как приводит к форми-

рованию настолько устойчивой мультисенсорной реорганизации нейронных систем, которая препятствует их дальнейшим изменениям вследствие применения технических или психолого-педагогических средств реабилитации. Однако мультимодальный принцип обработки информации, присущий мозгу, создает потенциальные возможности дополнительного развития его нейронных систем при настойчивом обучении и мультисенсорной тренировке когнитивных функций, что, в конечном счете, способствует успешной адаптации.

Поэтому поиск конкретных нейрофизиологических или психометрических показателей эффективности формирования и динамики реализации компенсаторных резервов в зависимости от особенностей сенсорной депривации, в том числе — ее этиологии и возрастной периодизации, несмотря на описанные выше выявленные закономерности нейропластичности при потере зрения или слуха, остается актуальным направлением дальнейших исследований в нейропсихологии.

Литература

1. A novel paradigm to study spatial memory skills in blind individuals through the auditory modality / W. Setti [et al.] // *Scientific Reports*. 2018. Vol. 8. Article ID 13393. 10 p. DOI:10.1038/s41598-018-31588-y
2. Anatomical and functional MRI changes after one year of auditory rehabilitation with hearing aids / M.R. Pereira-Jorge [et al.] // *Neural Plasticity*. 2018. Vol. 2018. Article ID 9303674. 13 p. DOI:10.1155/2018/9303674
3. Atilgan H., Collignon O., Hasson U. Structural neuroplasticity of the superior temporal plane in early and late blindness // *Brain and Language*. 2017. Vol. 170. P. 71—81. DOI:10.1016/j.bandl.2017.03.008
4. Baddeley A. Working memory [Электронный ресурс] // *Current Biology*. 2010. Vol. 20. № 4. P. 136—140. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982209021332> (дата обращения: 20.05.2020).
5. Behavioral semantics of learning and crossmodal processing in auditory cortex: the semantic processor concept / H. Scheich [et al.] // *Hearing Research*. 2011. Vol. 271. № 1—2. P. 3—15. DOI:10.1016/j.heares.2010.10.006
6. Bubic A., Striem-Amit E., Amedi A. Large-scale brain plasticity following blindness and the use of sensory substitution devices // *Multisensory Object Perception in the Primate Brain* / Eds. M.J. Naumer, J. Kaiser. New York: Springer, 2010. P. 351—380. DOI:10.1007/978-1-4419-5615-6_18
7. Calvert G.A., Campbell R., Brammer M.J. Evidence from functional magnetic resonance imaging of crossmodal binding in the human heteromodal cortex // *Current Biology*. 2000. Vol. 10. № 11. P. 649—657. DOI:10.1016/S0960-9822(00)00513-3
8. Cardon G., Sharma A. Somatosensory cross-modal reorganization in adults with age-related, early-stage hearing loss // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2018. Vol. 12. Article ID 172. 11 p. DOI:10.3389/fnhum.2018.00172
9. Crossmodal plasticity in sensory loss / J. Frasnelli [et al.] // *Progress in Brain Research*. 2011. Vol. 191. P. 233—249. DOI:10.1016/B978-0-444-53752-2.00002-3
10. Dewey R.S., Hartley D.E. Cortical cross-modal plasticity following deafness measured using functional near-infrared spectroscopy // *Hearing Research*. 2015. Vol. 325. P. 55—63. DOI:10.1016/j.heares.2015.03.007
11. Emotional and behaviour difficulties in teenagers with permanent childhood hearing loss / J. Stevenson [et al.] // *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2017. Vol. 101. P. 186—195. DOI:10.1016/j.ijporl.2017.07.031
12. Fuchs E., Flügge G. Adult neuroplasticity: More than 40 years of research // *Neural Plasticity*. 2014. Vol. 2014. Article ID 541870. 10 p. DOI:10.1155/2014/541870
13. Heimler B., Weisz N., Collignon O. Revisiting the adaptive and maladaptive effects of crossmodal plasticity // *Neuroscience*. 2014. Vol. 283. P. 44—63. DOI:10.1016/j.neuroscience.2014.08.003
14. Henscke J., Ohl F., Budinger E. Crossmodal connections of primary sensory cortices largely vanish during normal aging // *Aging Neuroscience*. 2018. Vol. 10. Article ID 52. 14 p. DOI:10.3389/fnagi.2018.00052
15. Hirsch G.V., Bauer C.M., Merabet L.B. Using structural and functional brain imaging to uncover how the brain adapts to blindness // *Annals of Neuroscience and Psychology*. 2015. Vol. 2:5. 20 p. DOI:10.7243/2055-3447-2-7
16. Impact of blindness onset on the functional organization and the connectivity of the occipital cortex / O. Collignon [et al.] // *Brain*. 2013. Vol. 136. № 9. P. 2769—2783. DOI:10.1093/brain/awt176

17. Karns C.M., Dow M.W., Neville H.J. Altered cross-modal processing in the primary auditory cortex of congenitally deaf adults: A visual-somatosensory fMRI study with a double-flash illusion // *Journal of Neuroscience*. 2012. Vol. 32. № 28. P. 9626—9638. DOI:10.1523/JNEUROSCI.6488-11.2012
18. King A.J. Crossmodal plasticity and hearing capabilities following blindness // *Cell and Tissue Research*. 2015. Vol. 361. № 1. P. 295—300. DOI:10.1007/s00441-015-2175-y
19. Language and sensory neural plasticity in the superior temporal cortex of the deaf / M. Que [et al.] // *Neural Plasticity*. 2018. Vol. 2018. Article ID 9456891. 17 p. DOI:10.1155/2018/9456891
20. Lazzouni L., Lepore F. Compensatory plasticity: time matters // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014. Vol. 8. Article ID 340. 11 p. DOI:10.3389/fnhum.2014.00340
21. Mapping visual cortex in monkeys and humans using surface-based atlases / D.C. Van Essen [et al.] // *Vision Research*. 2001. Vol. 41. № 10—11. P. 1359—1378. DOI:10.1016/S0042-6989(01)00045-1
22. Merabet L.B., Pascual-Leone A. Neural reorganization following sensory Loss: The opportunity of change // *Nature Reviews Neuroscience*. 2010. Vol. 11. № 1. P. 44—52. DOI:10.1038/nrn2758
23. Multimodal MR-imaging reveals large-scale structural and functional connectivity changes in profound early blindness / C.M. Bauer [et al.] // *PLoS One*. 2017. Vol. 12. № 3. 26 p. DOI:10.1371/journal.pone.0173064
24. Neuroimaging with near-infrared spectroscopy demonstrates speech-evoked activity in the auditory cortex of deaf children following cochlear implantation / A.B.G. Sevy [et al.] // *Hearing Research*. 2010. Vol. 270. № 1—2. P. 39—47. DOI:10.1016/j.heares.2010.09.010
25. Neuronal populations in the occipital cortex of the blind synchronize to the temporal dynamics of speech / M.J. Van Ackeren [et al.] // *eLife*. 2018. Vol. 7. 20 p. DOI:10.7554/eLife.31640
26. Neuroplasticity associated with tactile language communication in a deaf-blind subject / S. Obretenova [et al.] // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2009. Vol. 3. Article ID 60. 14 p. DOI:10.3389/neuro.09.060.2009
27. Plastic reorganization of neural systems for perception of others in the congenitally blind / S.L. Fairhall [et al.] // *NeuroImage*. 2017. Vol. 158. P. 126—135. DOI:10.1016/j.neuroimage.2017.06.057
28. Predicting reading ability in teenagers who are deaf or hard of hearing: A longitudinal analysis of language and reading / S. Worsfold [et al.] // *Research in Developmental Disabilities*. 2018. Vol. 77. P. 49—59. DOI:10.1016/j.ridd.2018.04.007
29. Reduction of Interhemispheric functional brain connectivity in early blindness: A resting-state fMRI Study / F. Hou [et al.] // *BioMed Research International*. 2017. Vol. 2017. Article ID 6756927. 8 p. DOI:10.1155/2017/6756927
30. Shape perception and navigation in blind adults / M. Gori [et al.] // *Frontiers in Psychology*. 2017. Vol. 8. Article ID 10. 12 p. DOI:10.3389/fpsyg.2017.00010
31. State-dependent modulation of functional connectivity in early blind individuals / M. Pelland [et al.] // *NeuroImage*. 2017. Vol. 147. P. 532—541. DOI:10.1016/j.neuroimage.2016.12.053
32. Stern Y. Cognitive reserve [Электронный ресурс] // *Neuropsychologia*. 2009. Vol. 47. № 10. P. 2015—2028. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0028393209001237> (дата обращения: 20.05.2020).
33. Stern Y. Cognitive reserve: Implications for assessment and intervention // *Folia Phoniatica et Logopaedica*. 2013. Vol. 65. № 2. P. 49—54. DOI:10.1159/000353443
34. Stiles N.R.B., Shimojo S. Sensory substitution: A new perceptual experience // *The Oxford Handbook of Perceptual Organization* / Ed. J. Wagemans. USA: Oxford University Press, 2015. P. 655—672. DOI:10.1093/oxfordhb/9780199686858.013.050
35. Szwed M., Bola L., Zimmermann M. Whether the hearing brain hears it or the deaf brain sees it, it's just the same // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2017. P. 114. № 31. P. 8135—8137. DOI:10.1073/pnas.1710492114
36. Tactile-sight: A sensory substitution device based on distance-related vibrotactile flow / L. Cancar [et al.] // *International Journal of Advanced Robotic Systems*. 2013. Vol. 10. № 6. 11 p. DOI:10.5772/56235
37. Vasile C. Cognitive reserve and cortical plasticity // *Procedia — Social and Behavioral Sciences*. 2013. Vol. 78. P. 601—604. DOI:10.1016/j.sbspro.2013.04.359
38. Visual activity predicts auditory recovery from deafness after adult cochlear implantation / K. Strelnikov [et al.] // *Brain*. 2013. Vol. 136. № 12. P. 3682—3695. DOI:10.1093/brain/awt274
39. Voss P. Brain (re)organization following visual loss // *WIREs Cogn Sci*. 2019. Vol. 10. № 1. 12 p. DOI:10.1002/wcs.1468
40. Zhou X., Merzenich M.M. Developmentally degraded cortical temporal processing restored by training // *Nature Neuroscience*. 2009. Vol. 12. № 1. P. 26—28. DOI:10.1038/nn.2239

References

1. Setti W. et al. A novel paradigm to study spatial memory skills in blind individuals through the auditory modality. *Scientific Reports*, 2018. Vol. 8, article ID 13393, 10 p. DOI:10.1038/s41598-018-31588-y
2. Pereira-Jorge M.R. et al. Anatomical and functional MRI changes after one year of auditory rehabilitation with hearing aids. *Neural Plasticity*, 2018. Vol. 2018, article ID 9303674, 13 p. DOI:10.1155/2018/9303674
3. Atilgan H., Collignon O., Hasson U. Structural neuroplasticity of the superior temporal plane in early and late blindness. *Brain and Language*, 2017. Vol. 170, pp. 71—81. DOI:10.1016/j.bandl.2017.03.008

4. Baddeley A. Working memory [Elektronnyi resurs]. *Current Biology*, 2010. Vol. 20, no. 4, pp. 136—140. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982209021332> (Accessed 20.05.2020).
5. Scheich H. et al. Behavioral semantics of learning and crossmodal processing in auditory cortex: the semantic processor concept. *Hearing Research*, 2011. Vol. 271, no. 1—2, pp. 3—15. DOI:10.1016/j.heares.2010.10.006
6. Bubic A., Striem-Amit E., Amedi A. Large-scale brain plasticity following blindness and the use of sensory substitution devices. In Naumer M.J., Kaiser J. (eds.). *Multisensory Object Perception in the Primate Brain*. New York: Springer, 2010. pp. 351—380. DOI:10.1007/978-1-4419-5615-6_18
7. Calvert G.A., Campbell R., Brammer M.J. Evidence from functional magnetic resonance imaging of crossmodal binding in the human heteromodal cortex. *Current Biology*, 2000. Vol. 10, no. 11, pp. 649—657. DOI:10.1016/S0960-9822(00)00513-3
8. Cardon G., Sharma A. Somatosensory cross-modal reorganization in adults with age-related, early-stage hearing loss. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2018. Vol. 12, article ID 172, 11 p. DOI:10.3389/fnhum.2018.00172
9. Frasnelli J. et al. Crossmodal plasticity in sensory loss. *Progress in Brain Research*, 2011. Vol. 191, pp. 233—249. DOI:10.1016/B978-0-444-53752-2.00002-3
10. Dewey R.S., Hartley D.E. Cortical cross-modal plasticity following deafness measured using functional near-infrared spectroscopy. *Hearing Research*, 2015. Vol. 325, pp. 55—63. DOI:10.1016/j.heares.2015.03.007
11. Stevenson J. et al. Emotional and behaviour difficulties in teenagers with permanent childhood hearing loss. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 2017. Vol. 101, pp. 186—195. DOI:10.1016/j.ijporl.2017.07.031
12. Fuchs E., Flügge G. Adult neuroplasticity: More than 40 years of research. *Neural Plasticity*, 2014. Vol. 2014, article ID 541870, 10 p. DOI:10.1155/2014/541870
13. Heimler B., Weisz N., Collignon O. Revisiting the adaptive and maladaptive effects of crossmodal plasticity. *Neuroscience*, 2014. Vol. 283, pp. 44—63. DOI:10.1016/j.neuroscience.2014.08.003
14. Henscke J., Ohl F., Budinger E. Crossmodal connections of primary sensory cortices largely vanish during normal aging. *Aging Neuroscience*, 2018. Vol. 10, article ID 52, 14 p. DOI:10.3389/fnagi.2018.00052
15. Hirsch G.V., Bauer C.M., Merabet L.B. Using structural and functional brain imaging to uncover how the brain adapts to blindness. *Annals of neuroscience and psychology*, 2015. Vol. 2:5, 20 p. DOI:10.7243/2055-3447-2-7
16. Collignon O. et al. Impact of blindness onset on the functional organization and the connectivity of the occipital cortex. *Brain*, 2013. Vol. 136, no. 9, pp. 2769—2783. DOI:10.1093/brain/awt176
17. Karns C.M., Dow M.W., Neville H.J. Altered cross-modal processing in the primary auditory cortex of congenitally deaf adults: A visual-somatosensory fMRI study with a double-flash illusion. *Journal of Neuroscience*, 2012. Vol. 32, no. 28, pp. 9626—9638. DOI:10.1523/JNEUROSCI.6488-11.2012
18. King A.J. Crossmodal plasticity and hearing capabilities following blindness. *Cell and Tissue Research*, 2015. Vol. 361, no. 1, pp. 295—300. DOI:10.1007/s00441-015-2175-y
19. Que M. et al. Language and sensory neural plasticity in the superior temporal cortex of the deaf. *Neural Plasticity*, 2018. Vol. 2014, article ID 9456891, 17 p. DOI:10.1155/2018/9456891
20. Lazzouni L., Lepore F. Compensatory plasticity: time matters. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2014. Vol. 8, article ID 340, 11 p. DOI:10.3389/fnhum.2014.00340
21. Van Essen D.C. et al. Mapping visual cortex in monkeys and humans using surface-based atlases. *Vision Research*, 2001. Vol. 41, no. 10—11, pp. 1359—1378. DOI:10.1016/S0042-6989(01)00045-1
22. Merabet L.B., Pascual-Leone A. Neural reorganization following sensory Loss: The opportunity of change. *Nature Reviews Neuroscience*, 2010. Vol. 11, no. 1, pp. 44—52. DOI:10.1038/nrn2758
23. Bauer C.M. et al. Multimodal MR-imaging reveals large-scale structural and functional connectivity changes in profound early blindness. *PLoS One*, 2017. Vol. 12, no. 3, 26 p. DOI:10.1371/journal.pone.0173064
24. Sevy A.B.G. et al. Neuroimaging with near-infrared spectroscopy demonstrates speech-evoked activity in the auditory cortex of deaf children following cochlear implantation. *Hearing research*, 2010. Vol. 270, no. 1—2, pp. 39—47. DOI:10.1016/j.heares.2010.09.010
25. Van Ackeren M.J. et al. Neuronal populations in the occipital cortex of the blind synchronize to the temporal dynamics of speech. *ELife*, 2018. Vol. 7, 20 p. DOI:10.7554/eLife.31640
26. Obretenova S. et al. Neuroplasticity associated with tactile language communication in a deaf-blind subject. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2009. Vol. 3, article ID 60, 14 p. DOI:10.3389/fnhum.2009.09.060.2009
27. Fairhall S.L. et al. Plastic reorganization of neural systems for perception of others in the congenitally blind. *NeuroImage*, 2017. Vol. 158, pp. 126—135. DOI:10.1016/j.neuroimage.2017.06.057
28. Worsfold S. et al. Predicting reading ability in teenagers who are deaf or hard of hearing: A longitudinal analysis of language and reading. *Research in Developmental Disabilities*, 2018. Vol. 77, pp. 49—59. DOI:10.1016/j.ridd.2018.04.007
29. Hou F. et al. Reduction of Interhemispheric functional brain connectivity in early blindness: A resting-state fMRI Study. *BioMed Research International*, 2017. Vol. 2017, article ID 6756927, 8 p. DOI:10.1155/2017/6756927
30. Gori M. et al. Shape perception and navigation in blind adults. *Frontiers in Psychology*, 2017. Vol. 8, article ID 10, 12 p. DOI:10.3389/fpsyg.2017.00010

31. Pelland M. et al. State-dependent modulation of functional connectivity in early blind individuals. *NeuroImage*, 2017. Vol. 147, pp. 532—541. DOI:10.1016/j.neuroimage.2016.12.053
32. Stern Y. Cognitive reserve [Elektronnyi resurs]. *Neuropsychologia*, 2009. Vol. 47, no. 10, pp. 2015—2028. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0028393209001237> (Accessed 20.05.2020).
33. Stern Y. Cognitive reserve: Implications for assessment and intervention. *Folia phoniatrica et logopaedica*, 2013. Vol. 65, no. 2, pp. 49—54. DOI:10.1159/000353443
34. Stiles N.R.B., Shimojo S. Sensory substitution: A new perceptual experience. In Wagemans J. (ed.). *The Oxford Handbook of Perceptual Organization*. USA: Oxford University Press, 2015, pp. 655—672. DOI:10.1093/oxfordhb/9780199686858.013.050
35. Szwed M., Bola L., Zimmermann M. Whether the hearing brain hears it or the deaf brain sees it, it's just the same. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2017, pp. 114, no. 31, pp. 8135—8137. DOI:10.1073/pnas.1710492114
36. Cancar L. et al. Tactile-sight: A sensory substitution device based on distance-related vibrotactile flow. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 2013. Vol. 10, 11 p. DOI:10.5772/56235
37. Vasile C. Cognitive reserve and cortical plasticity. *Procedia — Social and Behavioral Sciences*, 2013. Vol. 78, pp. 601—604. DOI:10.1016/j.sbspro.2013.04.359
38. Strelnikov K. et al. Visual activity predicts auditory recovery from deafness after adult cochlear implantation. *Brain*, 2013. Vol. 136, no. 12, pp. 3682—3695. DOI:10.1093/brain/awt274
39. Voss P. Brain (re)organization following visual loss. *WIREs Cogn Sci*, 2019. Vol. 10, no. 1, 12 p. DOI:10.1002/wcs.1468
40. Zhou X., Merzenich M.M. Developmentally degraded cortical temporal processing restored by training. *Nature Neuroscience*, 2009. Vol. 12, no. 1, pp. 26—28. DOI:10.1038/nn.2239

Информация об авторах

Разумникова Ольга Михайловна, доктор биологических наук, профессор кафедры психологии и педагогики, Новосибирский государственный технический университет (ФГБОУ ВО НГТУ), г. Новосибирск, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7831-9404>, e-mail: razoum@mail.ru

Кривоногова Ксения Дмитриевна, аспирант, кафедра психологии и педагогики факультета гуманитарного образования, педагог-психолог, Институт социальных технологий и реабилитации, Новосибирский государственный технический университет (ФГБОУ ВО НГТУ), г. Новосибирск, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4773-0396>, e-mail: kseniansk123@gmail.com

Information about the authors

Razumnikova Olga M, Doctor of Biology, Professor, Psychology and Pedagogic Department, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7831-9404>, e-mail: razoum@mail.ru

Krivonogova Kseniya D, Postgraduate Student, Psychology and Pedagogic Department, teacher-psychologist, Institute of Social Technologies and Rehabilitation, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4773-0396>, e-mail: kseniansk123@gmail.com

Получена 05.02.2019

Received 05.02.2019

Принята в печать 18.05.2020

Accepted 18.05.2020

Мозговые основы моральной оценки действий

Арутюнова К.Р.

*Институт психологии Российской академии наук (ФГБУН ИП РАН),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3056-5670>, e-mail: arutyunova@inbox.ru*

Созинова И.М.

*Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ),
Институт психологии Российской академии наук (ФГБУН ИП РАН),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9422-8748>, e-mail: eiole@yandex.ru*

Александров Ю.И.

*Институт психологии Российской академии наук (ФГБУН ИП РАН),
Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2644-3016>, e-mail: yuraalexandrov@yandex.ru*

Междисциплинарные исследования когнитивных и нейрофизиологических основ морали основаны на теоретических представлениях философии, реализуют разные психологические подходы и используют современные методы нейронаук. В данной работе представлен обзор литературы о специфике активности мозга при моральной оценке действий. В целом, результаты исследований показывают, что моральная оценка сопровождается определенной динамикой активаций в мозговых структурах, которые связывают с социальным познанием и эмоциями, и что эта динамика обладает особенностями на разных стадиях индивидуального развития. Мы обсуждаем эти данные с позиций системно-эволюционной теории, сопоставляя наш взгляд с «общедоменным» подходом, представленным в работах зарубежных авторов. Моральная оценка рассматривается нами как составляющая целостного поведения субъекта, которое обеспечивается активностью функциональных систем, сформированных на последовательных этапах его индивидуального развития. Динамику активности мозговых структур при моральной оценке действий предлагается рассматривать через представленность в этих структурах нейронных элементов функциональных систем, обеспечивающих текущее поведение.

Ключевые слова: мораль, моральная оценка, мозг, эмоции, социальное познание, системно-эволюционный подход, индивидуальный опыт, функциональные системы.

Финансирование: Анализ литературы по экспериментальным исследованиям активности мозга при моральной оценке действий выполнен при финансовой поддержке РФФИ № 18-313-20003_мол_а_вед. Анализ литературы относительно особенности динамики активности мозга при моральной оценке в ходе индивидуального развития выполнен при финансовой поддержке ФГБОУ ВО МГППУ в рамках научного проекта «Социальные аспекты формирования индивидуального опыта в онтогенетическом развитии».

Для цитаты: Арутюнова К.Р., Созинова И.М., Александров Ю.И. Мозговые основы моральной оценки действий [Электронный ресурс] // Современная зарубежная психология. 2020. Том 9. № 2. С. 68—81. DOI:<https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090206>

Brain activity during moral judgement of action

Karina R. Arutyunova

*Institute of Psychology, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3056-5670>, e-mail: arutyunova@inbox.ru*

Irina M. Sozinova

*State University of Psychology & Psychology Russian Academy of Science,
Moscow, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9422-8748>, e-mail: E-mail: eiole@yandex.ru*

Yuri I. Alexandrov

*Institute of Psychology Russian Academy of Science; Moscow State University of Psychology & Education,
Moscow, Russia,*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2644-3016>, e-mail: yuraalexanrov@yandex.ru

Interdisciplinary studies of cognitive and neurophysiological mechanisms of moral judgement often combine tools borrowed from philosophy, psychology and neuroscience. In this work, we review the studies of brain activity during moral judgement at different stages of individual development. Generally, it has been shown that moral judgement is accompanied by activations in brain areas related to emotion and social cognition; and these activations may vary across individuals of different age groups. We discuss these data from the positions of the system-evolutionary theory and compare our view with the domain-general approach to cognitive processes and brain activity underlying moral judgement. We suggest that moral judgement, as part of individual behaviour, is supported by activity of functional systems formed at different stages of individual development; therefore brain activity during moral judgement is accounted for by the specificity of distribution of neural elements of functional systems across the brain structures, which is determined by the history of an individual's interactions with the environment.

Keywords: morality, moral judgement, brain, emotion, social cognition, system-evolutionary theory, subjective experience, functional systems.

Funding: Analysis of experimental research of brain activity during moral judgement of action was supported by RFFR № 18-313-20003_mol_a_ved. Analysis of experimental research of brain activity during moral judgement at different stages of individual development was supported by MSUPE research project «Social aspects of individual experience development during ontogenesis».

For citation: Arutyunova K.R., Sozinova I.M., Alexandrov Yu.I. Brain activity during moral judgement of action [Elektronnyi resurs]. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya = Journal of Modern Foreign Psychology*, 2020. Vol. 9, no. 2, pp. 68—81. DOI:<https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090206> (In Russ.).

Мораль сформировалась в эволюции для решения проблем социальной жизни и часто рассматривается авторами в связи с развитием кооперации [10; 22; 61]. Под моральной оценкой¹ обычно понимают характеристику действия в терминах «хорошо»/«плохо» по отношению к благополучию других индивидов, групп или общества в целом, опирающуюся на принятые в данном обществе моральные нормы и ценности [7]. Моральная оценка является составляющей любого поведения человека [6; 9; 14], способствуя его адаптации к социокультурным требованиям жизни в обществе.

Интерес к проблемам морали в психологии и науках о мозге постепенно возрастал, начиная с 1990-х гг., и максимальный пик числа исследований в этой области наблюдается в последнее десятилетие [57]. Особую роль в этом сыграло развитие междисциплинарных исследований, объединяющих теоретические наработки из философии, различные психологические подходы и методы нейронаук. В данной работе мы обсуждаем результаты современных исследований динамики активности мозга при моральной оценке действий. Исследования, о которых пойдет речь, показывают, что нет специфических областей мозга, связанных исклю-

чительно с моральной оценкой; однако при моральной оценке наблюдаются характерные активации ряда мозговых структур, активность которых связывают с эмоциями и социальным познанием.

Одним из наиболее распространенных теоретических подходов к рассмотрению активности мозга при моральной оценке в зарубежной литературе является общедоменный подход [43; 64]. Согласно общедоменному подходу, паттерны мозговой активности, наблюдаемые при решении задач, имеющих моральную составляющую, сопоставляют с данными о том, в какие другие аспекты социального поведения вовлечены активизирующиеся структуры, и на основе такого анализа делают вывод о вкладе тех или иных когнитивных процессов в моральную оценку и принятие моральных решений. Например, при моральной оценке наблюдаются активации в структурах, которые связывают с формированием эмпатии и модели психического, на этом основании предполагается, что те же постулируемые когнитивные процессы играют определенную роль в моральной оценке. Данный подход согласуется с представлением о том, что моральная оценка обеспечивается когнитивными процессами,

¹ Мы используем термин «моральная оценка», а не «моральное суждение», как часто можно встретить в литературе. Значение слова «суждение» может пониматься как высказывание или утверждение, а также как форма мышления, имеющая оценочный характер и вербальное выражение, т. е. преимущественно рациональная. Однако современные теоретические подходы и исследования в области психологии морали аргументированно придают важное значение интуиции и подчеркивают роль эмоций. Термин «моральная оценка» учитывает вклад как интуитивного, так и рационального компонентов в формирование морального отношения к действиям.

общими для разных аспектов социального познания и не являющимися исключительно «моральными»; в частности, подчеркивается роль эмпатии и социальных эмоций.

В данной работе мы рассматриваем исследования активности мозга при моральной оценке, проведенные в рамках общедоменного подхода, и также предлагаем взгляд на результаты этих исследований с позиций системно-эволюционного подхода в психофизиологии и нейронауках [1; 2; 4; 5; 11; 15; 16; 18; 32]. Согласно системно-эволюционному подходу, активность мозга при моральной оценке действий обеспечивает целостное поведение, направленное на достижение адаптивных результатов, одним из аспектов которого является характеристика действий в терминах «хорошо»/«плохо» в соответствии с представлениями индивида о моральных нормах и ценностях [7]. С этих позиций, моральная оценка в поведении индивида обеспечивается актуализацией функциональных систем его субъективного опыта, сформированных на последовательных этапах развития. Функциональные системы образованы клетками разных органов и тканей организма, включая клетки мозга. Представленность нейронов различных функциональных систем в определенных структурах мозга обуславливает наблюдаемые паттерны активности этих структур. Таким образом, моральная оценка рассматривается в контексте целостного поведения субъекта и его системной организации.

Целью данной работы было сопоставить системно-эволюционный и общедоменный взгляды на результаты исследований активности мозга при моральной оценке действий и ее динамике в ходе индивидуального развития. Для этого мы обобщаем результаты экспериментальных исследований активности мозга при моральной оценке с использованием неинвазивных методов нейронаук (функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ), электро-энцефаллография (ЭЭГ) и др.), а также динамику этой активности в контексте индивидуального развития; обсуждаем значение изложенных данных с позиций общедоменного и системно-эволюционного подходов; предлагаем для рассмотрения некоторые преимущества и ограничения указанных подходов.

Экспериментальные исследования активности мозга при моральной оценке действий

Первые работы с применением методов картирования мозга сопоставляли активность различных областей и структур при оценке ситуаций социального взаимодействия, в которых прослеживается моральная составляющая, и ситуаций, не имеющих явной моральной составляющей. Эти исследования проводились с использованием вербального (например, вопросы и утверждения о моральных нормах и нарушениях [21; 40; 56]) и зрительного (например, изображения, иллюстрирующие моральные нарушения [33; 36]) материа-

ла. В ряде работ также использовались моральные дилеммы, различающиеся по таким параметрам, как эмоциональность, сложность и др. [20; 55]. В целом, как отмечалось выше, в ситуациях с выраженной моральной составляющей наблюдалась повышенная активность в тех областях и структурах, которые считаются связанными с эмоциями и социальным познанием (миндалина, вентромедиальная префронтальная кора, верхняя височная борозда, билатеральный височно-теменной узел, дорсолатеральная префронтальная кора, задняя цингулярная кора и др.).

Лобная кора. Особую роль при моральной оценке играет активность ряда областей медиальной префронтальной коры, которая считается существенным звеном в обеспечении многих аспектов социального познания. В частности, авторы указывают на роль вентромедиальной префронтальной коры в интеграции эмоций и других когнитивных процессов при принятии решения о моральной допустимости действий [20; 21; 33; 36; 40; 56]. Показано, например, что изменения активности нейронов вентромедиальной префронтальной коры связаны с варьированием эмоционального содержания предъявляемых сенсорных стимулов [48].

Грин с соавторами [20] впервые описали особенности активности вентромедиальной префронтальной коры при решении участниками исследования моральных дилемм, характеризующихся разной эмоциональной нагрузкой. Наиболее выраженная активность в данной области наблюдалась при оценке действий в высокоэмоциональных личностных моральных дилеммах. Кроме того, в последующей работе Грин с соавторами [55] показали, что более выраженная активность вентромедиальной префронтальной коры наблюдается также при деонтологических моральных оценках, которые в первую очередь учитывают качественные характеристики действий (а не их результатов), по сравнению с утилитарными моральными оценками, которые преимущественно опираются на расчет результата действий.

С помощью фМРТ также обнаружено, что при моральной оценке действий наблюдаются активации в дорсолатеральной префронтальной коре, активность которой обычно связывают с сознательными процессами, обеспечением решения когнитивных задач и абстрактным мышлением; поэтому авторы предполагают, что активность этой области коры лежит в основе вынесения моральных оценок, базирующихся на прагматическом расчете результатов действий, которые зачастую оказываются утилитарными [20; 55].

Роль активности различных отделов лобной коры при моральной оценке также изучалась в исследованиях с участием пациентов с повреждениями мозга [25; 39]. Дамасио с соавторами [58] показали, что у пациентов с повреждениями отделов лобной коры нарушается способность использовать сопутствующие эмоциям соматические ощущения для оценки социальных ситуаций, в том числе включающих явный моральный компо-

нент. Эти результаты рассматриваются авторами как иллюстрация того, какое важное значение имеет интеграция эмоций и других когнитивных процессов для адекватной оценки социальных ситуаций и адаптивного поведения индивида в социуме.

В других нейропсихологических исследованиях выявлено, что моральные оценки пациентов с эмоциональными нарушениями обладают определенными особенностями в сравнении с оценками нейротипичных индивидов. Пациентов с лобно-височной деменцией, проявляющейся на уровне мозга в повреждениях префронтальной и передней височной областей коры, характеризуют притупленные эмоции и сниженная эмпатия; при этом их моральные оценки в высокоэмоциональных личностных ситуациях более утилитарны [39]. Сходные характеристики моральных оценок наблюдают и у пациентов с очаговыми поражениями вентромедиальной префронтальной коры [25], у которых также описывают сниженную интенсивность эмоций и низкий уровень эмпатии, однако их абстрактное мышление и другие когнитивные способности остаются сохранными, в отличие от пациентов с деменцией.

Теменная кора. При размышлении о моральном содержании ситуаций наблюдаются активации областей и структур, которые связывают с оценкой ментальных состояний других людей. Так, выявлено, что активность в области правого височно-теменного узла увеличивается при выполнении задач, требующих вовлечения модели психического, причем активность в данной области коррелирует с особенностями моральных оценок индивидов [65]. Участники, у которых наблюдалась более высокая активность данной области, мягче оценивали случайное причинение вреда, поскольку учитывали безобидные намерения агента; при этом участники с более низкими показателями активности правого височно-теменного узла в большей степени ориентировались на вредоносный результат действия и выносили более жесткие оценки. Кроме того, при функциональном «выключении» правого височно-теменного узла с помощью транскраниальной магнитной стимуляции участники также мягче оценивали намеренное причинение вреда и при вынесении оценок в меньшей степени учитывали намеренность действий [29]. Опираясь на эти результаты, авторы заключают, что модель психического, лежащая в основе оценки ментальных состояний и намерений других людей, играет ключевую роль при оценке моральной характеристики действий [64; 65].

Височная кора. Авторы отмечают, что активность в области верхней височной борозды играет важную роль в моральной оценке, эту область обычно связывают с процессами социального восприятия [20; 33; 55]. Причем, вероятно, данная область в большей степени вовлекается при решении личностных моральных дилемм [20]. Из других областей височной коры, активность которых связывают с моральной оценкой, можно также отметить переднюю височную извилину [36; 40; 55] и угловую извилину [20].

Лимбическая кора. Известно, что задняя цингулярная кора считается важным звеном в формировании памяти, а также процессах самосознания и восприятия эмоционально значимых аспектов среды; кроме того активность данной области имеет отношение к социальным способностям [55] и эмпатии [42]. Активность задней цингулярной коры при моральной оценке, как показывают исследования, в большей степени проявляется в случае личностных дилемм [20]. Авторы также отмечают вклад в обеспечение моральной оценки островковой коры [33; 55]; ее активность обычно связывают с восприятием эмоций [55] и эмпатией [28; 42].

Подкорковые структуры. В качестве одной из ключевых структур в обеспечении моральной оценки рассматривается миндалина, чью активность связывают с восприятием и переживанием эмоций [55]. В частности, при оценке вредоносных действий в моральных дилеммах участники описывают свои субъективные переживания как грусть, и эти субъективные переживания на уровне мозговой активности авторы объясняют активностью миндалины и таламуса [28].

Интересно, что паттерны активности мозга обладают особенностями при моральной оценке действий индивидов своей и чужих групп. Так, если участник исследования наказывает членов своей группы, более активны дорсомедиальная префронтальная кора и билатеральный теменно-височный узел, что интерпретируется авторами в контексте попытки оправдания членов своей группы [54]. При этом то же самое наказание в отношении членов чужой группы сопровождалось активациями правой орбитофронтальной коры, правой латеральной префронтальной коры и правой дорсальной части хвостатого ядра, которые авторы связывают с санкционными действиями. Ван Бавел с соавторами [60] обнаружили связь между высокими баллами теста межгрупповых предубеждений и увеличением активности в орбитофронтальной коре при просмотривании лиц чужой расы [60]. Активность в области так называемой «болевого матрицы» (pain matrix), представленной в коре головного мозга (в состав которой входит, в том числе, передняя цингулярная кора) связывают с восприятием ущемления социальных прав представителей своей расы и похожих на себя, в отличие от лиц других рас. Рядом исследователей была зафиксирована связь между расовыми предубеждениями и активностью миндалины [38; 44]. Эта активность снижалась при осознаваемом рассмотрении лиц другой расы, что сопровождалось повышением активности в префронтальных зонах головного мозга, которые связывают с «сознательным контролем» поведения [50].

Динамика активности мозга при моральной оценке

Некоторые авторы аргументируют необходимость рассмотрения мозговых основ моральной оценки как динамический процесс, в котором важное значение имеет временная последовательность активаций в изучаемых структурах [59]. Для такого анализа больше

подходит регистрация ЭЭГ. Так, Дисити и Касиоппо [27] проанализировали связанные с событиями потенциалы (ССП) при оценке намеренных и случайных действий, причиняющих вред другим людям. Было показано, что с латенцией 62 мс после предъявления морального сценария наблюдались потенциалы в области правой верхней височной борозды. Известно, что активность данной области специфически связана с разделением намеренных и случайных действий. В среднем через 122 мс после предъявления морального сценария регистрировали потенциалы в миндалине и через 182 мс — в вентромедиальной префронтальной коре. Дисити и Касиоппо [27] интерпретируют эти результаты как указание на то, что некоторые характеристики действия, такие как его цель, могут учитываться при моральной оценке раньше, чем субъективное эмоциональное отношение индивида к оцениваемому действию.

В работе Йодера и Дисити [63] изучалась пространственно-временная динамика потенциалов мозга при моральной оценке сценариев из реальной жизни. Авторы показали, что после зрительного предъявления материала, иллюстрирующего про- и антисоциальные действия, сначала наблюдались активации в области верхней теменной коры, а затем становились активными префронтальные области, включая медиальную префронтальную кору, переднюю цингулярную кору и дорсолатеральную префронтальную кору. Амплитуды потенциалов были выше в случае просоциальных действий по сравнению с антисоциальными действиями, что может говорить о раннем (пик амплитуд N1 — около 100 мс) распознавании «моральной валентности» действий в терминах «хорошо»/«плохо». Кроме того, показатели когнитивной эмпатии участников коррелировали с разницей потенциалов, соответствующих про- и антисоциальным действиям, но только на сравнительно поздних этапах (после 300 мс от момента предъявления); при этом корреляций с эмоциональной эмпатией не наблюдалось. Эти данные могут говорить о том, что индивидуальные различия в моральной оценке в большей степени проявляются в более медленной рациональной составляющей, в то время как ее быстрая интуитивная составляющая у разных людей разворачивается довольно сходно.

Таким образом, методы картирования мозга позволили описать основные структуры и области мозга, активация которых наблюдается при моральной оценке, а с помощью анализа ЭЭГ стало возможным проследить динамику этой активности в процессе моральной оценки.

Изменение моральной оценки действий при нейростимуляции мозга

Динамика активности мозга при моральной оценке действий также изучалась в исследованиях с использованием нейротехнологий для морального «нейросовершенствования» человека (moral (neuro) enhancement [31]), которое предполагает быстрое

изменение моральных оценок путем фармакологических воздействий, транскраниальной магнитной стимуляции и электрической стимуляции структур головного мозга, а также глубокой инвазивной нейростимуляции. Моральное «нейросовершенствование» рассматривается некоторыми авторами как аналог когнитивного «нейросовершенствования» (cognitive (neuro)enhancement), т. е. усиления познавательных процессов, важных для решения различных мыслительных задач. В подобных исследованиях обычно используются методы «возбуждения» или «торможения» разных областей коры головного мозга. В контексте морального «нейросовершенствования» направленное воздействие обычно оказывается на зоны, которые связывают с сознательным контролем поведения, включая дорсолатеральную префронтальную кору, височно-теменной узел и медиальные лобные доли. Так, обнаружено, что при «торможении» активности дорсолатеральной префронтальной коры участники исследования реже наказывают себя и других за моральные нарушения, а также чаще действуют «аморально» [26]. При «возбуждающей» стимуляции правой дорсолатеральной префронтальной коры снижается уровень агрессивности. Авторы объясняют полученные результаты тем, что изучаемая область связана с чувством отвращения к вредоносным действиям, которое регулирует склонность к совершению этого действия и наказанию за совершение этого действия другими. При этом «возбуждающая» стимуляция левой дорсолатеральной префронтальной коры сопровождается увеличением готовности к сотрудничеству. Путем «возбуждения» правого височно-теменного узла была исследована его роль в восприятии намеренных и ненамеренных моральных нарушений [53]. Как отмечалось выше, эту область связывают с формированием модели психического, основой понимания намерений другого. Показано, что «тормозящая» стимуляция правой префронтальной коры или височно-теменного узла может напрямую влиять на моральные суждения — например, касающиеся справедливости и оценки вреда [31]. При «возбуждающей» стимуляции медиальной префронтальной области коры, в отличие от «тормозящей» стимуляции, число утилитарных ответов (спасти пятерых ценой жизни одного) было выше в низкоэмоциональных дилеммах, но этого не наблюдалось в высокоэмоциональных личностных дилеммах [49]. Авторы интерпретируют полученные ими результаты как свидетельство в пользу того, что роль медиальной префронтальной коры не следует сводить исключительно к обеспечению регуляции вклада эмоций в моральную оценку, активность этой области может быть также связана с протеканием других когнитивных процессов; причем вклад эмоций и когнитивный контроль должны рассматриваться не как конкурирующие процессы (эту точку зрения см. в работах Грина с соавторами [20; 55]), а как интегрированные друг с другом процессы.

В целом, методы морального «нейросовершенствования» все больше подвергаются критике, поскольку такие технологии работают только на короткий срок, а последствия продолжительных воздействий остаются малоизученными [30]. С позиции эмотивного подхода к изучению морали, использование технологий по моральному «нейросовершенствованию» может быть опасно, так как предполагает искусственное усиление рационального компонента в моральных решениях, в то время как эмоции играют важную, и часто ведущую, роль в адаптивных социальных взаимодействиях и моральной оценке действий [45]. Использование нейростимуляции для мгновенного «изменения» моральных оценок может иметь непредсказуемые последствия: например, было показано, что при использовании транскраниальной магнитной стимуляции правой дорсолатеральной префронтальной коры, участники исследования чаще соглашались на несправедливые сделки, хотя и осознавали, что сделка была несправедливой [46]. Авторы отмечают, что риски использования нейростимуляции для морального «совершенствования» выше, чем выгода, получаемая при ее применении [62].

Особенности динамики активности мозга при моральной оценке в ходе индивидуального развития

Исследований активности мозга при моральной оценке на ранних этапах развития немного. Коул и Дисити [24] изучали паттерны ЭЭГ-потенциалов у детей 3—5 лет при просмотре видеороликов с персонажами, которые помогают или мешают другим достигнуть цели. Авторами обнаружены паттерны мозговой активности, которые они связали с ранним автоматическим вниманием и поздним когнитивным контролем. Эти паттерны можно сопоставить с эмоционально-интуитивными и рациональными процессами моральной оценки, которые выделяются многими авторами у взрослых участников исследования [20; 55].

В другой работе Ченг с соавторами [23] сопоставляли ЭЭГ-потенциалы детей 3—9 лет и взрослых при рассматривании рисунков с социальным контекстом, на некоторых из которых было изображено причинение боли одним индивидом другому. Авторы обнаружили свидетельства в пользу снижения с возрастом амплитуды N200, которую связывают с автоматическим эмпатическим эраузелом, при этом амплитуда поздне-позитивного потенциала увеличивалась. В работе Дисити с соавторами [28] показано, что восприятие чужой боли у детей 7—12 лет сопровождается увеличением активности в зонах мозга, связанных с ощущением своей боли, включая островковую кору, соматосенсорную кору, переднюю и среднюю цингулярную кору. Структуры, активность которых связывают с обеспечением социального познания и моральной оценки, включая височно-теменной узел, орбитофронтальную кору и миндалину, также активирова-

лись при рассматривании причинения боли другому при социальном взаимодействии [28]. Эти данные говорят о том, что к 7—12 годам у детей наблюдаются схожие со взрослыми паттерны активности мозговых структур в задачах с социальным контекстом и моральной составляющей.

В ряде исследований изучалась динамика активности мозговых структур в задачах с социальным контекстом, включающих моральную оценку действий, у детей подросткового возраста. Так, у подростков с нарушенным распознаванием моральных запретов с помощью фМРТ была зарегистрирована более низкая, чем у подростков из контрольной группы, активность миндалины и связь между миндалиной и орбитофронтальной корой во время вынесения суждений о юридических наказаниях относительно моральных нарушений [47]. Харенски с соавторами [41] показали корреляцию возраста участников исследования 13—53 лет с активностью в области височно-теменного узла и задней цингулярной коры. Как упоминалось выше, активность в области височно-теменного узла обычно связывают с использованием в поведении модели психического, а активность в задней цингулярной области коры — с эмоциями и процессами самовосприятия. Более того, авторы отмечают, что активность в задней цингулярной коре увеличивается в период с подросткового до взрослого возраста, а активность в области височно-теменного узла возрастает позже. Результаты другого исследования с использованием фМРТ [28] показали, что с возрастом происходит постепенная комплексная интеграция эмоций и других когнитивных процессов, лежащих в основе моральной оценки, что отражается в динамике активности мозговых структур.

Обсуждение результатов исследований активности мозга при моральной оценке действий с позиций общедоменного и системно-эволюционного подходов

Обобщая описанные выше результаты исследований и их интерпретацию, можно отметить, что большинство авторов придерживаются позиций общедоменного подхода. Причем, как и в случае изучения основ принятия решений [37], активации структур головного мозга при моральной оценке связываются ими с когнитивными процессами, которые условно можно разделить на интуитивные и рациональные. В частности, активацию вентромедиальной префронтальной области коры связывают с интуитивной оценкой, основанной на эмоциях, а дорсолатеральной префронтальной коры — с более когнитивно сложной рациональной оценкой. Эти интуитивные и рациональные процессы, по мнению ряда авторов [20; 55], могут являться конкурентными. Авторы обсуждают, как области мозга, вовлеченные в обеспечение различных когнитивных процессов, активиру-

ются при моральной оценке. Следуя этой логике, передняя цингулярная кора играет важную роль в регуляции эмоций и рациональных процессов; миндалина — в восприятии эмоций; височно-теменной узел и верхняя височная борозда обеспечивают понимание интенциональности, атрибуции намерений и мыслей других людей; островковая кора связывается с эмпатией и переживанием чувства отвращения, в том числе к причинению вреда; а задняя цингулярная кора, передняя височная извилина и нижняя теменная кора обеспечивают протекание общих когнитивных процессов, таких как рабочая память и когнитивный контроль. Таким образом, согласно общедоменным представлениям, перечисленные когнитивные процессы, которые можно описать в терминах интуитивного и рационального, играют определенную роль в моральной оценке действий, а изучение сопутствующей им мозговой активности позволяет судить о вкладе того или иного когнитивного процесса и особенностях его протекания.

Преимуществом общедоменного подхода является то, что в его рамках моральная оценка может рассматриваться в более широком контексте поведения и социального познания, поскольку ее мозговое обеспечение описывается в терминах, общих с другими психологическими конструктами когнитивных процессов. Такое рассмотрение позволяет объяснить формирование морали и моральной оценки в эволюции и в индивидуальном развитии в связи с другими взаимосвязанными феноменами социальных взаимодействий, включая эмпатию, социальные эмоции, модель психического и т. д. С другой стороны, общедоменный подход опирается на представления об организации активности мозга по принципу «структура—функция», часто имплицитно локализуя изучаемые когнитивные процессы в структурах мозга, в которых наблюдаются соответствующие постулируемым процессам активации. Авторы в рамках общедоменного подхода, хотя и подчеркивают необходимость активности целого мозга в поведении и при моральной оценке, по сути, описывают эту активность как сумму активаций набора областей и структур, соответствующую сумме реализуемых когнитивных «функций».

Мы предлагаем рассмотреть имеющиеся данные об активности мозга при моральной оценке с позиций системно-эволюционного подхода [1; 2; 4; 5; 11; 15; 16; 18; 32]. Моральная оценка понимается нами как один из аспектов целостного поведения индивида в социокультурной среде, в основе которого лежит актуализация его субъективного опыта [6; 7]. Поведение направлено на достижение необходимых организму результатов и «представляет собой единую психофизиологическую реальность динамических соотношений определенного целостного организма, имеющего индивидуальную историю, со средой, имеющей определенные объективные закономерности» [16, с. 11]. В ходе взаимодействия со средой поведенческие акты, приводящие к достижению

полезных приспособительных результатов, фиксируются в структуре субъективного опыта индивида в виде функциональных систем — элементов опыта, которые формируются на основе уже имеющихся, ранее сформированных систем. Новые элементы опыта и системы, на основе которых они сформированы, представляют собой единицы опыта. Одновременная актуализация систем, сформированных на разных этапах индивидуального развития и составляющих единицу опыта, обеспечивает реализацию конкретного поведенческого акта, направленного на достижение определенного результата — необходимого организму соотношения со средой. Рано сформированные («старые») системы, как правило, лежат в основе реализации наиболее общих для разных индивидов, видоспецифических актов. «Новые» системы, которые формируются позднее в индивидуальном развитии, обеспечивают все более сложные и разнообразные виды поведения. Формирование «новых» систем при научении в ходе индивидуального развития приводит ко все большей дифференцированности опыта субъекта и его отношений со средой. Вся совокупность сформированных функциональных систем и отношений между ними представляет собой структуру субъективного опыта, которая обеспечивает поведение индивида и отражает историю его соотношения со средой. При этом, каждый достигнутый результат индивидуального поведения оценивается, в том числе, и в его отношении к коллективному результату, что соответствует моральной характеристике поведения [6].

Функциональные системы представлены группами нейронов и других клеток организма, чья совместная активность приводит к реализации определенного поведенческого акта. Экспериментально было показано, что нейроны, активность которых связана с рано формируемым и позднее формируемым поведением, представлены в структурах головного мозга в разном соотношении. Прослеживается тенденция локализации нейронов, связанных с актуализацией рано сформированного поведения, в древних структурах, а нейронов «новых» систем — в областях неокортекса [8; 12; 17]. Согласно сформулированной в рамках системно-эволюционного подхода единой концепции сознания и эмоций [3; 19], соотношение активированных «новых» и «старых» систем, а также степень их актуализации определяет выраженность эмоций и сознания как характеристик поведения: большая интенсивность субъективных переживаний эмоций и большая выраженность их психофизиологических проявлений соответствуют активации и более высокой степени актуализации рано сформированных, «старых» систем, а феномены сознания — актуализации позже сформированных, «новых» систем. В соответствии с этими представлениями можно также предположить, что в основе наблюдаемых интуитивных и эмоциональных аспектов моральной оценки преимущественно лежит актуализация рано сформированных систем субъективного

опыта, а рациональных — более поздно сформированных систем. Так, моральная оценка действий может сопровождаться эмоциями, например, чувством отвращения к причинению вреда, однако эмоции не являются ее механизмом, как и моральные оценки не являются причиной, вызывающей эмоции. Эмоции рассматриваются нами не как отдельный психический процесс или особый вид поведения, а как доступные самому индивиду субъективные переживания и наблюдаемые при этом психофизиологические проявления, связанные с активностью рано сформированных систем [13]. Более медленная рациональная оценка моральной характеристики действия основана на актуализации более поздно сформированного опыта («новые» системы) и обуславливает вариацию и динамику моральных оценок действий. Таким образом, результаты, полученные в рамках общедоменного подхода, можно интерпретировать в рамках системно-эволюционного подхода следующим образом: в структурах мозга, активность которых связывают с интуитивной моральной оценкой и ролью эмоций (например, вентромедиальная префронтальная кора, миндалина и др.) пропорция нейронов рано сформированных систем выше, чем в областях неокортекса, которые связывают с рациональной моральной оценкой и сложными когнитивными процессами (например, дорсолатеральная префронтальная кора, правый височно-теменной узел и др.).

Изложенная нами позиция согласуется и с представлениями других авторов о том, что мозговую активность, зарегистрированную с использованием фМРТ, необходимо рассматривать в связи с поведенческими актами, на реализацию которых она направлена и которые сформированы в процессе индивидуального развития при обучении новым формам взаимодействия, а не в связи с отдельными когнитивными процессами [51; 52]. Согласно системно-эволюционным представлениям, активность мозга при моральной оценке действий обеспечивает целостное поведение, направленное на достижение адаптивных результатов, одним из аспектов которого является характеристика действий в терминах «хорошо»/«плохо» в соответствии с представлениями индивида о моральных нормах и ценностях [7]. С этих позиций, моральная оценка в поведении индивида обеспечивается актуализацией функциональных систем его субъективного опыта, сформированных на разных этапах развития. Динамику активности мозговых структур при моральной оценке действий мы предлагаем рассматривать через представленность в этих структурах нейронных элементов функциональных систем, обеспечивающих текущее поведение и обуславливающих наблюдаемые паттерны активности этих структур. Таким образом, теоретические положения системно-эволюционного подхода позволяют рассмотреть динамику мозговой активности при моральной оценке действий в контексте целостного поведения субъекта и его системной организации.

Выводы

1. Исследования с использованием фМРТ показывают, что моральная оценка сопровождается повышенной активностью структур мозга, которые считаются связанными с эмоциями и социальным познанием. Эти структуры мозга включают дорсолатеральную и медиальную области префронтальной коры, височно-теменной узел, миндалину, заднюю цингулярную кору и др.

2. Активность мозга при моральной оценке обладает спецификой на последовательных этапах индивидуального развития: в период от детства к подростковому возрасту и взрослости происходит снижение активности структур и областей, которые связывают с аффективной оценкой событий, и увеличивается активность, связываемая с «сознательным контролем»; в ходе дальнейшего развития во взрослом возрасте отмечается интеграция эмоционального и рационального компонентов моральной оценки, что находит отражение в динамике мозговой активности.

3. Путем нейростимуляции определенных структур мозга (дорсолатеральной префронтальной коры, медиальной префронтальной коры, височно-теменного узла и др.) можно изменять паттерны моральных оценок человека, которые имеют отношение к учету степени причиненного вреда, пониманию намеренности действий, вкладу эмоций и мыслительных процессов при решении моральных дилемм.

4. Наиболее представленным в зарубежной литературе можно считать общедоменный подход к активности мозга при моральной оценке, согласно которому, по мозговой активности можно судить о вкладе того или иного когнитивного процесса в моральную оценку. В рамках такого рассмотрения, опирающегося на структурно-функциональные представления об активности мозга, трудно последовательно описать динамические отношения целостного организма со средой, в ходе которых происходит моральная оценка действий.

5. Согласно системно-эволюционному подходу, моральная оценка рассматривается в контексте целостного поведения субъекта и его системной организации; активность мозга при моральной оценке предлагается рассматривать через представленность в его структурах нейронных элементов функциональных систем, обеспечивающих текущее поведение и обуславливающих наблюдаемые паттерны активности этих структур. Такой подход позволяет объяснить особенности активности мозга при моральной оценке не как набор активаций отдельных структур, выполняющих разные постулируемые авторами функции, но как динамику актуализации нейронных элементов общеорганизменных функциональных систем, обеспечивающих достижение результатов взаимодействия целостного организма со средой, в том числе социальной.

Литература

1. Александров Ю.И. Формирование структуры индивидуального знания. М.: Институт психологии РАН, 2006. 560 с.
2. Александров Ю.И. Закономерности актуализации индивидуального опыта и реорганизации его системной структуры: комплексное исследование [Электронный ресурс] // Труды ИСА РАН. 2011. Т. 61. № 3. С. 3—25. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18153346&> (дата обращения: 02.06.2020).
3. Александров Ю.И. От эмоций к сознанию // Психология творчества: Школа Я.А. Пономарева / Под ред. Д.В. Ушакова. М.: Институт психологии РАН, 2006. С. 5—28.
4. Александров Ю.И. Психофизиологическое значение активности центральных и периферических нейронов в поведении. Москва: Наука, 1989. 206 с.
5. Александров Ю.И. Системная психофизиология // Психофизиология / Под. Ред. Ю.И. Александрова. СПб.: Питер, 2001. С. 263—234.
6. Александров Ю.И., Александрова Н.Л. Субъективный опыт, культура и социальные представления [Электронный ресурс]. М.: Институт психологии РАН, 2009. 319 с. URL: [http://mhp-journal.ru/upload/Library/Alexandrov_YuI_Alexandrova_NL_\(2009\)_Subjective_Experience_Culture_and_Social_Representations.pdf](http://mhp-journal.ru/upload/Library/Alexandrov_YuI_Alexandrova_NL_(2009)_Subjective_Experience_Culture_and_Social_Representations.pdf) (дата обращения: 02.06.2020).
7. Арутюнова К.Р., Александров Ю.И. Мораль и субъективный опыт. М.: Институт психологии РАН, 2019. 188 с.
8. Горкин А.Г., Шевченко Д.Г. Отражение структуры памяти в активности системоспецифичных нейронов // Психологический журнал. 1991. Т. 12. № 2. С. 60—69.
9. Гусейнов А.А. Нравственность в свете негативной этики // Мораль: разнообразие понятий и смыслов: сборник научных трудов. К 75-летию академика А.А. Гусейнова / Отв. ред. и сост. О.П. Зубец. М.: Альфа-М, 2014. С. 13—34.
10. Дюркгейм Э. О разделении общественного труда. Метод социологии. М.: Наука, 1991. 575 с.
11. Закономерности формирования и реализации индивидуального опыта / Ю.И. Александров [и др.] // Журнал высшей нервной деятельности имени И.П. Павлова. 1997. Т. 47. № 2. С. 243—260.
12. Карпов А.П. Организация активности нейронов обонятельной луковицы в пищедобывательном поведении // Системный подход к психофизиологической проблеме. М.: Наука, 1982. С. 193—201.
13. Регрессия как этап развития / Ю.И. Александров [и др.]. М.: Институт психологии РАН, 2017. 191 с.
14. Шадриков В.Д. Поведение как фактор формирования совести [Электронный ресурс] // Психология. 2006. Том 3. № 4. С. 3—13. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pokayanie-kak-faktor-formirovaniya-sovesti> (дата обращения: 02.06.2020).
15. Швырков В.Б. Введение в объективную психологию: нейрональные основы психики. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 1995. 162 с.
16. Швырков В.Б. Изучение активности нейронов как метод психофизиологического исследования поведения. Нейроны в поведении: системные аспекты. М.: Наука, 1986. С. 6—25.
17. Швырков В.Б. Системная детерминация активности нейронов в поведении // Успехи физиологических наук. 1983. Т. 14. № 1. С. 45—66.
18. Alexandrov Yu.I., Krylov A.K., Arutyunova K.R. Activity during learning and the nonlinear differentiation of experience // Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences. 2017. Vol. 21. № 4. P. 391—405.
19. Alexandrov Yu.I., Sams M.E. Emotion and consciousness: ends of a continuum // Cognitive Brain Research. 2005. Vol. 25. № 2. P. 387—405. DOI:10.11621/pir.2009.0008
20. An fMRI investigation of emotional engagement in moral judgment / J.D. Greene [et al.] // Science. 2001. Vol. 293. № 5537. P. 2105—2108. DOI:10.1126/science.1062872
21. An fMRI study of simple ethical decision-making / H.R. Heekeren [et al.] // Neuroreport. 2003. Vol. 14. № 9. P. 1215—1219.
22. Baumard N., Boyer P. Explaining moral religions // Trends in Cognitive Sciences. 2013. Vol. 17. № 6. P. 272—280. DOI:10.1016/j.tics.2013.04.003
23. Cheng Y., Chen C., Decety J. An EEG/ERP investigation of the development of empathy in early and middle childhood // Developmental Cognitive Neuroscience. 2014. Vol. 10. P. 160—169. DOI:10.1016/j.dcn.2014.08.012
24. Cowell J.M., Decety J. The neuroscience of implicit moral evaluation and its relation to generosity in early childhood // Current Biology. 2015. Vol. 25. № 1. P. 93—97. DOI:10.1016/j.cub.2014.11.002
25. Damage to the prefrontal cortex increases utilitarian moral judgments / M. Koenigs [et al.] // Nature. 2007. Vol. 446. № 7138. P. 908—911. DOI:10.1038/nature05631
26. Darby R.R., Pascual-Leone A. Moral enhancement using non-invasive brain stimulation // Frontiers in Human Neuroscience. 2017. Vol. 11. Article ID 77. P. 77. DOI:10.3389/fnhum.2017.00077
27. Decety J., Cacioppo S. The speed of morality: a high-density electrical neuroimaging study // Journal of Neurophysiology. 2012. Vol. 108. № 11. P. 3068—3072. DOI:10.1152/jn.00473.2012
28. Decety J., Michalska K.J., Kinzler K.D. The contribution of emotion and cognition to moral sensitivity: a neurodevelopmental study // Cerebral Cortex. 2012. Vol. 22. № 1. P. 209—220. DOI:10.1093/cercor/bhr111

29. Disruption of the right temporoparietal junction with transcranial magnetic stimulation reduces the role of beliefs in moral judgments / L.L. Young [et al.] // PNAS. 2010. Vol. 107. № 15. P. 6753—6758. DOI:10.1073/pnas.0914826107
30. *Dubljević V., Racine E.* Moral enhancement meets normative and empirical reality: assessing the practical feasibility of moral enhancement neurotechnologies // Bioethics. 2017. Vol. 31. № 5. P. 338—348. DOI:10.1111/bioe.12355
31. *Earp B.D., Douglas T., Savulescu J.* Moral enhancement // Routledge Handbook for Neuroethics / Eds. L.S.M. Johnson, K.S. Rommelfanger. New York: Routledge, 2017. 20 p.
32. Formation and realization of individual experience in humans and animals: A psychophysiological approach / Yu.L. Alexandrov [et al.] // Conceptual Advances in Brain Research. Vol. 2. Complex brain functions. Conceptual advances in Russian neuroscience / Eds. R. Miller, A.M. Ivanitsky, P.M. Balaban. Harwood Academic Publishers, 2000. P. 181—200.
33. Functional networks in emotional moral and nonmoral social judgments / J. Moll [et al.] // NeuroImage. 2002. Vol. 16. № 3. P. 696—703. DOI:10.1006/nimg.2002.1118
34. *Funk C.M., Gazzaniga M.S.* The functional brain architecture of human morality // Current Opinion in Neurobiology. 2009. Vol. 19. № 6. P. 678—681. DOI:10.1016/j.conb.2009.09.011
35. Gender differences in neural mechanisms underlying moral sensitivity / C.L. Harenski [et al.] // Social, Cognitive and Affective Neuroscience. 2008. Vol. 3. № 4. P. 313—321. DOI:10.1093/scan/nsn026
36. *Harenski C.L., Hamaan S.* Neural correlates of regulating negative emotions related to moral violations // NeuroImage. 2006. Vol. 30. № 1. P. 313—324. DOI:10.1016/j.neuroimage.2005.09.034
37. Intuition and deliberation: two systems for strategizing in the brain / W.-J. Kuo [et al.] // Science. 2009. Vol. 324. № 5926. P. 519—522. DOI:10.1126/science.1165598
38. *Krill A., Platek S.M.* In-group and out-group membership mediates anterior cingulate activation to social exclusion // Frontiers in Evolutionary Neuroscience. 2009. Vol. 1. Article ID 1. 7 p. DOI:10.3389/neuro.18.001.2009
39. *Mendez M., Anderson E., Shapira J.* An investigation of moral judgment in frontotemporal dementia // Cognitive and Behavioral Neurology. 2005. Vol. 18. № 4. P. 193—197. DOI:10.1097/01.wnn.0000191292.17964.bb
40. *Moll J., Eslinger P.J., de Oliveira-Souza R.* Frontopolar and anterior temporal cortex activation in a moral judgment task: preliminary functionalMRI results in normal subjects // Arquivos de neuro-psiquiatria. 2001. Vol. 59. № 3-B. P. 657—664. DOI:10.1590/S0004-282X2001000500001
41. Neural development of mentalizing in moral judgment from adolescence to adulthood / C.L. Harenski [et al.] // Developmental Cognitive Neuroscience. 2012. Vol. 2. № 1. P. 162—173. DOI:10.1016/j.dcn.2011.09.002
42. Neuronal correlates of theory of mind and empathy: a functional magnetic resonance imaging study in a nonverbal task / B.A. Völlm [et al.] // Neuroimage. 2006. Vol. 29. № 1. P. 90—98. DOI:10.1016/j.neuroimage.2005.07.022
43. *Pascual L., Rodrigues P., Gallardo-Pujol D.* How does morality work in the brain? A functional and structural perspective of moral behaviour // Frontiers in Integrative Neuroscience. 2013. Vol. 7. № 65. 8 p. DOI:10.3389/fnint.2013.00065
44. Performance on indirect measures of race evaluation predicts amygdala activation / E.A. Phelps [et al.] // Journal of Cognitive Neuroscience. 2000. Vol. 12. № 5. P. 729—738. DOI:10.1162/089892900562552
45. *Persson I., Savulescu J.* The duty to be morally enhanced // Topoi. 2019. Vol. 38. № 1. P. 7—14. DOI:10.1007/s11245-017-9475-7
46. Plasticity in the human nervous system: Investigations with transcranial magnetic stimulation / Eds. S. Boniface, U. Ziemann. New York: Cambridge University Press, 2003. 317 p.
47. Reduced amygdala—orbitofrontal connectivity during moral judgments in youths with disruptive behavior disorders and psychopathic traits / A.A. Marsh [et al.] // Psychiatry Research: Neuroimaging. 2011. Vol. 194. № 3. P. 279—286. DOI:10.1016/j.psychresns.2011.07.008
48. *Rolls E.T.* The orbitofrontal cortex and reward // Cerebral Cortex. 2000. Vol. 10. № 3. P. 284—294. DOI:10.1093/cercor/10.3.284
49. Selective changes in moral judgment by noninvasive brain stimulation of the medial prefrontal cortex / P. Riva [et al.] // Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience. 2019. Vol. 19. № 4. P. 797—810. DOI:10.3758/s13415-018-00664-1
50. Separable neural components in the processing of black and white faces / W.A. Cunningham [et al.] // Psychological Science. 2004. Vol. 15. № 12. P. 806—813. DOI:10.1111/j.0956-7976.2004.00760.x
51. *Shulman R.G., Hyder F., Rothman D.L.* Insights from neuroenergetics into the interpretation of functional neuroimaging: an alternative empirical model for studying the brain's support of behavior // Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism. 2014. Vol. 34. № 11. P. 1721—1735. DOI:10.1038/jcbfm.2014.145
52. *Shulman R.G., Rothman D.L.* A non-cognitive behavioral model for interpreting functional neuroimaging studies // Frontiers in Human Neuroscience. 2019. Vol. 13. Article ID 28. 18 p. DOI:10.3389/fnhum.2019.00028
53. *Sowden S., Catmur C.* The role of the right temporoparietal junction in the control of imitation // Cerebral Cortex. 2015. Vol. 25. № 4. P. 1107—1113. DOI:10.1093/cercor/bht306
54. The mentalizing network orchestrates the impact of parochial altruism on social norm enforcement / T. Baumgartner [et al.] // Human Brain Mapping. 2012. Vol. 33. № 6. P. 1452—1469. DOI:10.1002/hbm.21298
55. The neural bases of cognitive conflict and control in moral judgment / J.D. Greene [et al.] // Neuron. 2004. Vol. 44. № 2. P. 389—400. DOI:10.1016/j.neuron.2004.09.027

56. The neural correlates of moral sensitivity: a functional magnetic resonance imaging investigation of basic and moral emotions / J. Moll [et al.] // *Journal of Neuroscience*. 2002. Vol. 22. № 7. P. 2730—2736. DOI:10.1523/jneurosci.22-07-02730.2002
57. The psychology of morality: a review and analysis of empirical studies published from 1940 through 2017 / N. Ellemers [et al.] // *Personality and Social Psychology Review*. 2019. Vol. 23. № 4. P. 332—366. DOI:10.1177/1088868318811759
58. The return of Phineas Gage: clues about the brain from the skull of a famous patient / H. Damasio [et al.] // *Science*. 1994. Vol. 264. № 5162. P. 1102—1105. DOI:10.1126/science.8178168
59. Van Bavel J.J., Feldman Hall O., Mende-Siedlecki P. The neuroscience of moral cognition: From dual processes to dynamic systems // *Current Opinion in Psychology*. 2015. Vol. 6. P. 167—172. DOI:10.1016/j.copsyc.2015.08.009
60. Van Bavel J.J., Packer D.J., Cunningham W.A. The neural substrates of in-group bias: a functional magnetic resonance imaging investigation // *Psychological Science*. 2008. Vol. 19. № 11. P. 1131—1139. DOI:10.1111/j.1467-9280.2008.02214.x
61. Vogel G. The evolution of the Golden rule // *Science*. 2004. Vol. 303. № 5661. P. 1128—1131. DOI:10.1126/science.303.5661.1128
62. Wiseman H. The myth of the moral brain: The limits of moral enhancement. Cambridge, MA: MIT Press, 2016. 337 p.
63. Yoder K.J., Decety J. Spatiotemporal neural dynamics of moral judgment: A high-density ERP study // *Neuropsychologia*. 2014. Vol. 60. P. 39—45. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2014.05.022
64. Young L., Dungan J. Where in the brain is morality? Everywhere and maybe nowhere // *Social Neuroscience*. 2012. Vol. 7. № 1. P. 1—10. DOI:10.1080/17470919.2011.569146
65. Young L., Saxe R. The neural basis of belief encoding and integration in moral judgment // *NeuroImage*. 2008. Vol. 40. № 4. P. 1912—1920. DOI:10.1016/j.neuroimage.2008.01.057

References

- Aleksandrov I.O. Formirovanie struktury individual'nogo znaniya [The formation of the structure of individual knowledge]. Moscow: Institut psikhologii RAN, 2006. 560 p. (In Russ).
- Aleksandrov Yu.I. Zakonomernosti aktualizatsii individual'nogo opyta i reorganizatsii ego sistemnoi struktury: kompleksnoe issledovanie [Patterns of actualization of individual experience and reorganization of its system structure: a comprehensive study] [Elektronnyi resurs]. *Trudy ISA RAN = [Proceedings of the Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences]*, 2011. Vol. 61, no. 3, pp. 3—25. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18153346&> (Accessed 02.06.2020). (In Russ).
- Aleksandrov Yu.I. Ot emotsii k soznaniyu. In Ushakova D.V. (ed.), *Psikhologiya tvorchestva: Shkola Ya.A. Ponomareva = [Psychology of creativity: School Ya.A. Ponomareva]*. Moscow: Institut psikhologii RAN, 2006, pp. 5—28. (In Russ).
- Aleksandrov Yu.I. Psikhofiziologicheskoe znachenie aktivnosti tsentral'nykh i perifericheskikh neuronov v povedenii = [Psychophysiological significance of the activity of central and peripheral neurons in behavior]. Moscow: Nauka, 1989. 206 p. (In Russ).
- Aleksandrov Yu.I. Sistemnaya psikhofiziologiya. In Aleksandrov Yu.I. (ed.), *Psikhofiziologiya = [Psychophysiology]*. St. Petersburg: Peter, 2001, pp. 263—234. (In Russ).
- Aleksandrov Yu.I., Aleksandrova N.L. Sub"ektivnyi opyt, kul'tura i sotsial'nye predstavleniya = [Subjective experience, culture and social representations] [Elektronnyi resurs]. Moscow: Institut psikhologii RAN, 2009. 319 p. URL: [http://mhp-journal.ru/upload/Library/Alexandrov_YuI_Alexandrova_NL_\(2009\)_Subjective_Experience_Culture_and_Social_Representations.pdf](http://mhp-journal.ru/upload/Library/Alexandrov_YuI_Alexandrova_NL_(2009)_Subjective_Experience_Culture_and_Social_Representations.pdf) (Accessed 02.06.2020). (In Russ).
- Arutyunova K.R., Aleksandrov Yu.I. Moral' i sub"ektivnyi opyt [Morality and subjective experience]. Moscow: Institut psikhologii RAN, 2019. 188 p. (In Russ).
- Gorkin A.G., Shevchenko D.G. Otrazhenie struktury pamyati v aktivnosti sistemspetsifichnykh neuronov [Reflection of the memory structure in the activity of system-specific neurons]. *Psikhologicheskii zhurnal = Psychological Journal*, 1991. Vol. 12, no. 2, pp. 60—69. (In Russ).
- Guseinov A.A. Nравственность в свете негативной этики [Morality in the light of negative ethics]. In Zubets O.P. (ed.), *Moral': raznoobrazie ponyatii i smyslov: sbornik nauchnykh trudov. K 75-letiyu akademika A.A. Guseynova = [Moral: a variety of concepts and meanings: a collection of scientific papers. To the 75th anniversary of academician A.A. Huseynova]*. Moscow: Al'fa-M, 2014, pp. 13—34. (In Russ).
- Dyurkgeim E. O razdelenii obshchestvennogo truda. Metod sotsiologii = [On the division of social labor. The method of sociology]. Moscow: Nauka, 1991. 575 p. (In Russ).
- Aleksandrov Yu.I. et al. Zakonomernosti formirovaniya i realizatsii individual'nogo opyta [Patterns of formation and implementation of individual experience]. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatel'nosti im. I.P. Pavlova = [Journal of Higher Nervous Activity named after I.P. Pavlova]*, 1997. Vol. 47, no. 2, pp. 243—260. (In Russ).
- Karpov A.P. Organizatsiya aktivnosti neuronov obonyatel'noi lukovitsy v pishchedobyyatel'nom povedenii [Organization of the activity of olfactory bulb neurons in food-producing behavior]. *Sistemnyi podkhod k psikhofiziologicheskoi problem = [System approach to the psychophysiological problem]*. Moscow: Nauka, 1982, pp. 193—201. (In Russ).

13. Aleksandrov Yu.I. et al. Regressiya kak etap razvitiya [Regression as a stage of development]. Moscow: Institut psikhologii RAN, 2017. 191 p. (In Russ).
14. Shadrikov V.D. Povedenie kak faktor formirovaniya sovesti = [Behavior as a factor in the formation of conscience] [Elektronnyi resurs]. *Psikhologiya = [Psychology]*, 2006. Vol. 3, no. 4, pp. 3—13. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pokayanie-kak-faktor-formirovaniya-sovesti> (Accessed 02.06.2020). (In Russ).
15. Shvyrvkov V.B. Vvedenie v ob"ektivnyuyu psikhologiyu: neuronal'nye osnovy psikhiki = [Introduction to objective psychology: the neuronal foundations of the psyche]. Moskva: Institut psikhologii RAN, 1995. 162 p. (In Russ).
16. Shvyrvkov V.B. Izuchenie aktivnosti neuronov kak metod psikhofiziologicheskogo issledovaniya povedeniya. Neirony v povedenii: sistemnye aspekty = [The study of neuronal activity as a method of psychophysiological study of behavior. Neurons in behavior: systemic aspects]. Moscow: Nauka, 1986, pp. 6—25. (In Russ).
17. Shvyrvkov V.B. Sistemnaya determinatsiya aktivnosti neuronov v povedenii = [Systemic determination of neuron activity in behavior]. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk = [Advances in Physiological Sciences]*, 1983. Vol. 14, no. 1, pp. 45—66. (In Russ).
18. Alexandrov Yu.I., Krylov A.K., Arutyunova K.R. Activity during learning and the nonlinear differentiation of experience. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 2017. Vol. 21, no. 4, pp. 391—405.
19. Alexandrov Yu.I., Sams M.E. Emotion and consciousness: ends of a continuum. *Cognitive Brain Research*, 2005. Vol. 25, no. 2, pp. 387—405. DOI:10.11621/pir.2009.0008
20. Greene J.D. et al. An fMRI investigation of emotional engagement in moral judgment. *Science*, 2001. Vol. 293, no. 5537, pp. 2105—2108. DOI:10.1126/science.1062872
21. Heekeren H.R. et al. An fMRI study of simple ethical decision-making. *Neuroreport*, 2003. Vol. 14, no. 9, pp. 1215—1219.
22. Baumard N., Boyer P. Explaining moral religions. *Trends in Cognitive Sciences*, 2013. Vol. 17, no. 6, pp. 272—280. DOI:10.1016/j.tics.2013.04.003
23. Cheng Y., Chen C., Decety J. An EEG/ERP investigation of the development of empathy in early and middle childhood. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2014. Vol. 10, pp. 160—169. DOI:10.1016/j.dcn.2014.08.012
24. Cowell J.M., Decety J. The neuroscience of implicit moral evaluation and its relation to generosity in early childhood. *Current Biology*, 2015. Vol. 25, no. 1, pp. 93—97. DOI:10.1016/j.cub.2014.11.002
25. Koenigs M. et al. Damage to the prefrontal cortex increases utilitarian moral judgments. *Nature*, 2007. Vol. 446, no. 7138, pp. 908—911. DOI:10.1038/nature05631
26. Darby R.R., Pascual-Leone A. Moral enhancement using non-invasive brain stimulation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2017. Vol. 11, article ID 77, pp. 77. DOI:10.3389/fnhum.2017.00077
27. Decety J., Cacioppo S. The speed of morality: a high-density electrical neuroimaging study. *Journal of Neurophysiology*, 2012. Vol. 108, no. 11, pp. 3068—3072. DOI:10.1152/jn.00473.2012
28. Decety J., Michalska K.J., Kinzler K.D. The contribution of emotion and cognition to moral sensitivity: a neurodevelopmental study. *Cerebral Cortex*, 2012. Vol. 22, no. 1, pp. 209—220. DOI:10.1093/cercor/bhr111
29. Young L.L. et al. Disruption of the right temporoparietal junction with transcranial magnetic stimulation reduces the role of beliefs in moral judgments. *PNAS*, 2010. Vol. 107, no. 15, pp. 6753—6758. DOI:10.1073/pnas.0914826107
30. Dubljević V., Racine E. Moral enhancement meets normative and empirical reality: assessing the practical feasibility of moral enhancement neurotechnologies. *Bioethics*, 2017. Vol. 31, no. 5, pp. 338—348. DOI:10.1111/bioe.12355
31. Earp B.D., Douglas T., Savulescu J. Moral enhancement. In Johnson L.S.M., Rommelfanger K.S. (eds.), *Routledge Handbook for Neuroethics*. New York: Routledge, 2017. 20 p.
32. Alexandrov Yu.L. et al. Formation and realization of individual experience in humans and animals: A psychophysiological approach. In Miller R., Ivanitsky A.M., Balaban P.M. (eds.), *Conceptual Advances in Brain Research. Vol. 2. Complex brain functions. Conceptual advances in Russian neuroscience*. Harwood Academic Publishers, 2000, pp. 181—200.
33. Moll J. et al. Functional networks in emotional moral and nonmoral social judgments. *NeuroImage*, 2002. Vol. 16, no. 3, pp. 696—703. DOI:10.1006/nimg.2002.1118
34. Funk C.M., Gazzaniga M.S. The functional brain architecture of human morality. *Current Opinion in Neurobiology*, 2009. Vol. 19, no. 6, pp. 678—681. DOI:10.1016/j.conb.2009.09.011
35. Harenski C.L. et al. Gender differences in neural mechanisms underlying moral sensitivity. *Social, Cognitive and Affective Neuroscience*, 2008. Vol. 3, no. 4, pp. 313—321. DOI:10.1093/scan/nsn026
36. Harenski C.L., Hamaan S. Neural correlates of regulating negative emotions related to moral violations. *NeuroImage*, 2006. Vol. 30, no. 1, pp. 313—324. DOI:10.1016/j.neuroimage.2005.09.034
37. Kuo W.-J. et al. Intuition and deliberation: two systems for strategizing in the brain. *Science*, 2009. Vol. 324, no. 5926, pp. 519—522. DOI:10.1126/science.1165598
38. Krill A., Platak S.M. In-group and out-group membership mediates anterior cingulate activation to social exclusion. *Frontiers in Evolutionary Neuroscience*, 2009. Vol. 1, article ID 1, 7 p. DOI:10.3389/neuro.18.001.2009
39. Mendez M., Anderson E., Shapira J. An investigation of moral judgment in frontotemporal dementia. *Cognitive and Behavioral Neurology*, 2005. Vol. 18, no. 4, pp. 193—197. DOI:10.1097/01.wnn.0000191292.17964.bb

40. Moll J., Eslinger P.J., de Oliveira-Souza R. Frontopolar and anterior temporal cortex activation in a moral judgment task: preliminary functionalMRI results in normal subjects. *Arquivos de neuro-psiquiatria*, 2001. Vol. 59, no. 3-B, pp. 657—664. DOI:10.1590/S0004-282X2001000500001
41. Harenski C.L. et al. Neural development of mentalizing in moral judgment from adolescence to adulthood. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2012. Vol. 2, no. 1, pp. 162—173. DOI:10.1016/j.dcn.2011.09.002
42. Völlm B.A. et al. Neuronal correlates of theory of mind and empathy: a functional magnetic resonance imaging study in a nonverbal task. *Neuroimage*, 2006. Vol. 29, no. 1, pp. 90—98. DOI:10.1016/j.neuroimage.2005.07.022
43. Pascual L., Rodrigues P., Gallardo-Pujol D. How does morality work in the brain? A functional and structural perspective of moral behavior. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 2013. Vol. 7, no. 65, 8 p. DOI:10.3389/fnint.2013.00065
44. Phelps E.A. et al. Performance on indirect measures of race evaluation predicts amygdala activation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2000. Vol. 12, no. 5, pp. 729—738. DOI:10.1162/089892900562552
45. Persson I., Savulescu J. The duty to be morally enhanced. *Topoi*, 2019. Vol. 38, no. 1, pp. 7—14. DOI:10.1007/s11245-017-9475-7
46. Boniface S., Ziemann U. (eds.). *Plasticity in the human nervous system: Investigations with transcranial magnetic stimulation*. New York: Cambridge University Press, 2003. 317 p.
47. Marsh A.A. et al. Reduced amygdala—orbitofrontal connectivity during moral judgments in youths with disruptive behavior disorders and psychopathic traits. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 2011. Vol. 194, no. 3, pp. 279—286. DOI:10.1016/j.psychres.2011.07.008
48. Rolls E.T. The orbitofrontal cortex and reward. *Cerebral Cortex*, 2000. Vol. 10, no. 3, pp. 284—294. DOI:10.1093/cercor/10.3.284
49. Riva P. et al. Selective changes in moral judgment by noninvasive brain stimulation of the medial prefrontal cortex. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 2019. Vol. 19, no. 4, pp. 797—810. DOI:10.3758/s13415-018-00664-1
50. Cunningham W.A. et al. Separable neural components in the processing of black and white faces. *Psychological Science*, 2004. Vol. 15, no. 12, pp. 806—813. DOI:10.1111/j.0956-7976.2004.00760.x
51. Shulman R.G., Hyder F., Rothman D.L. Insights from neuroenergetics into the interpretation of functional neuroimaging: an alternative empirical model for studying the brain’s support of behavior. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 2014. Vol. 34, no. 11, pp. 1721—1735. DOI:10.1038/jcbfm.2014.145
52. Shulman R.G., Rothman D.L. A non-cognitive behavioral model for interpreting functional neuroimaging studies. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2019. Vol. 13, article ID 28, 18 p. DOI:10.3389/fnhum.2019.00028
53. Sowden S., Catmur C. The role of the right temporoparietal junction in the control of imitation. *Cerebral Cortex*, 2015. Vol. 25, no. 4, pp. 1107—1113. DOI:10.1093/cercor/bht306
54. Baumgartner T. et al. The mentalizing network orchestrates the impact of parochial altruism on social norm enforcement. *Human Brain Mapping*, 2012. Vol. 33, no. 6, pp. 1452—1469. DOI:10.1002/hbm.21298
55. Greene J.D. et al. The neural bases of cognitive conflict and control in moral judgment. *Neuron*. 2004. Vol. 44, no. 2, pp. 389—400. DOI:10.1016/j.neuron.2004.09.027
56. Moll J. et al. The neural correlates of moral sensitivity: a functional magnetic resonance imaging investigation of basic and moral emotions. *Journal of Neuroscience*, 2002. Vol. 22, no. 7, pp. 2730—2736. DOI:10.1523/jneurosci.22-07-02730.2002
57. Ellemers N. et al. The psychology of morality: a review and analysis of empirical studies published from 1940 through 2017. *Personality and Social Psychology Review*, 2019. Vol. 23, no. 4, pp. 332—366. DOI:10.1177/1088868318811759
58. Damasio H. et al. The return of Phineas Gage: clues about the brain from the skull of a famous patient. *Science*, 1994. Vol. 264, no. 5162, pp. 1102—1105. DOI:10.1126/science.8178168
59. Van Bavel J.J., FeldmanHall O., Mende-Siedlecki P. The neuroscience of moral cognition: From dual processes to dynamic systems. *Current Opinion in Psychology*, 2015. Vol. 6, pp. 167—172. DOI:10.1016/j.copsyc.2015.08.009
60. Van Bavel J.J., Packer D.J., Cunningham W.A. The neural substrates of in-group bias: a functional magnetic resonance imaging investigation. *Psychological Science*, 2008. Vol. 19, no. 11, pp. 1131—1139. DOI:10.1111/j.1467-9280.2008.02214.x
61. Vogel G. The evolution of the Golden rule. *Science*, 2004. Vol. 303, no. 5661, pp. 1128—1131. DOI:10.1126/science.303.5661.1128
62. Wiseman H. *The myth of the moral brain: The limits of moral enhancement*. Cambridge, MA: MIT Press, 2016. 337 p.
63. Yoder K.J., Decety J. Spatiotemporal neural dynamics of moral judgment: A high-density ERP study. *Neuropsychologia*, 2014. Vol. 60, pp. 39—45. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2014.05.022
64. Young L., Dungan J. Where in the brain is morality? Everywhere and maybe nowhere. *Social Neuroscience*, 2012. Vol. 7, no. 1, pp. 1—10. DOI:10.1080/17470919.2011.569146
65. Young L., Saxe R. The neural basis of belief encoding and integration in moral judgment. *NeuroImage*, 2008. Vol. 40, no. 4, pp. 1912—1920. DOI:10.1016/j.neuroimage.2008.01.057

Информация об авторах

Арутюнова Карина Ролландовна, кандидат психологических наук, ассоциированный научный сотрудник лаборатории психофизиологии имени В.Б. Швыркова, Институт психологии Российской академии наук (ФГБУН ИП РАН), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3056-5670>, e-mail: arutyunova@inbox.ru

Созинова Ирина Михайловна, научный сотрудник лаборатории нейрокогнитивных исследований индивидуального опыта Института экспериментальной психологии, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), ; ассоциированный сотрудник лаборатории психофизиологии имени В.Б. Швыркова, институт психологии Российской академии наук (ФГБУН ИП РАН), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9422-8748>, e-mail: eiole@yandex.ru

Александров Юрий Иосифович, профессор, доктор психологических наук, член-корреспондент Российской академии образования, заведующий лабораторией психофизиологии имени В.Б. Швыркова, Институт психологии Российской академии наук (ФГБУН ИП РАН); заведующий лабораторией нейрокогнитивных исследований индивидуального опыта Института экспериментальной психологии, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2644-3016>, e-mail: yuraalexandrov@yandex.ru

Information about the authors

Karina R. Arutyunova, PhD in Psychology, Associate Researcher, V.B. Shvyrkov Laboratory of Neural Bases of Mind, Institute of Psychology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3056-5670>, e-mail: arutyunova@inbox.ru

Irina M. Sozinova, Researcher, Laboratory of Neurocognitive Research of Individual Experience Institute of Experimental Psychology, Moscow State University of Psychology & Education; Associate Member of the V. B. Shvyrkov Laboratory of Psychophysiology, Institute of Psychology Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9422-8748>, e-mail: E-mail: eiole@yandex.ru

Yuri I. Alexandrov, Doctor of Psychology, Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Education, Head of V.B. Shvyrkov Laboratory of Neural Bases of Mind, Institute of Psychology Russian Academy of Science; Head of Laboratory of Neurocognitive Research of Individual Experience, Institute of Experimental Psychology, Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2644-3016>, e-mail: yuraalexanrov@yandex.ru

Получена 01.04.2020
Принята в печать 25.05.2020

Received 01.04.2020
Accepted 25.05.2020

Нейрокогнитивные аспекты процессов тайминга и слухомоторной синхронизации

Ковалева А.В.

*Научно-исследовательский институт нормальной физиологии имени П.К. Анохина
(ФГБНУ «НИИИФ» имени П.К. Анохина),
г. Москва, Российская Федерация*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7377-3408>, e-mail: a.kovaleva@nphys.ru

Статья посвящена обзору современной зарубежной и отечественной литературы, связанной с изучением нейрокогнитивных аспектов чувства времени, тайминга и сенсомоторной синхронизации. Эти фундаментальные способности человека и животных являются существенной составляющей многих когнитивных процессов: речи, памяти, внимания, планирования и прогнозирования. Нарушения процессов тайминга и сенсомоторной интеграции и синхронизации сопровождают ряд расстройств в двигательной и когнитивной сферах: речевые и языковые проблемы, аутизм, СДВГ, нейродегенеративные заболевания, мнестические расстройства. Многие мозговые структуры участвуют в реализации процессов тайминга: моторная кора, мозжечок, базальные ганглии, некоторые стволовые структуры. Эмоциональная окраска стимулов меняет субъективное восприятие длительности их предъявления. Важно отметить положительную роль тренировок чувства ритма и движений под ритмические звуки и музыку при многих заболеваниях.

Ключевые слова: тайминг, чувство времени, сенсомоторная синхронизация, теппинг, когнитивные функции, эмоции.

Для цитаты: Ковалева А.В. Нейрокогнитивные аспекты процессов тайминга и слухомоторной синхронизации [Электронный ресурс] // Современная зарубежная психология. 2020. Том 9. № 2. С. 82—92. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090107>

Neurocognitive aspects of timing and sensorimotor synchronization

Anastasia V. Kovaleva

*P.K. Anokhin Research Institute of Normal Physiology,
Moscow, Russia,*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7377-3408>, e-mail: a.kovaleva@nphys.ru

The article presents a review of the neurocognitive studies of time perception, timing, and sensorimotor synchronization. These fundamental abilities of humans and animals are an essential component of many cognitive processes: speech, memory, attention, planning, and forecasting. Violations of the processes of timing and sensorimotor integration and synchronization accompany some disorders in the motor and cognitive spheres: speech and language problems, autism, ADHD, neurodegenerative diseases, memory disorders. Many brain structures are involved in the implementation of timing processes: motor cortex, cerebellum, basal ganglia, some brain stem structures. The emotional valence and arousal of stimuli change the subjective perception of their duration. It is important to note the positive role of training time and rhythm perception and movements to rhythmic sounds and music in the rehabilitation process.

Keywords: timing, time perception, sensorimotor synchronization, tapping, cognitive functions, emotions.

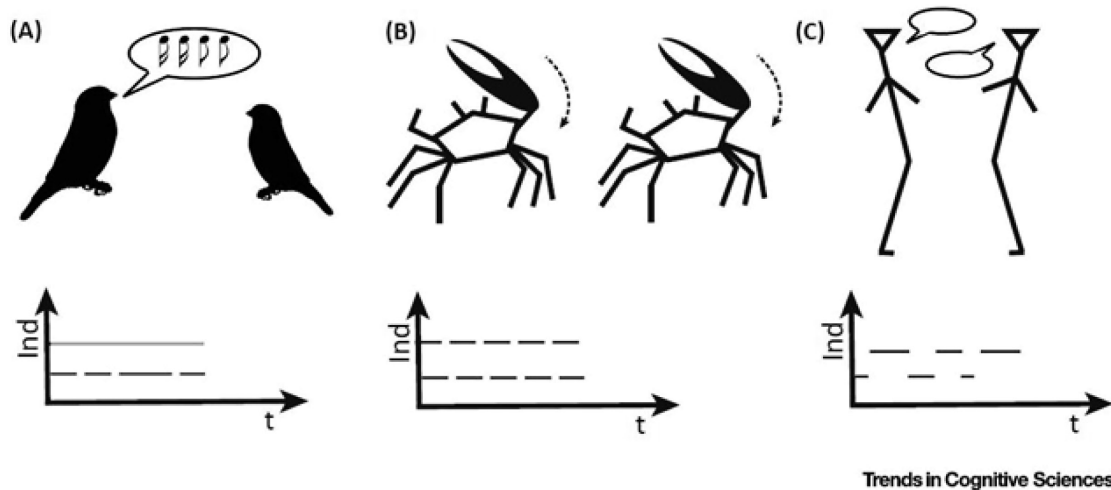
For citation: Kovaleva A.V. Neurocognitive aspects of timing and sensorimotor synchronization [Elektronnyy resurs]. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya = Journal of Modern Foreign Psychology*, 2020. Vol. 9, no. 2, pp. 82—92. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090207> (In Russ.)

Введение

Способность к отсчету временных интервалов разных длительностей, к точной оценке продолжительности событий, а также к синхронизации своей активности с внешними стимулами и другими представителями своего и других видов является фундаментальным свой-

ством организмов как живых систем, т. е. оно определяет возможности социальной коммуникации, как в сообществах, так и между его особями (рис. 1) [23].

Тайминг и способность к сенсомоторной синхронизации играют одну из ключевых ролей в парных взаимоотношениях между матерью и ребенком, особенно в начале жизни ребенка (на младенческой ста-



Trends in Cognitive Sciences

Рис. 1. Примеры ритмичности при социальном взаимодействии (Socialtiming) [23]. (А) — временная структура сольной песни одной птицы (пунктирная линия), пока другая птица слушает (серая сплошная линия) и рассматривает первую в качестве потенциального партнера; (В) — синхронные движения крабов в процессе плавания; (С) — временная структура диалога двух людей. Ind — индивидуальная активность, t — время

дии онтогенеза): эффективность этого взаимодействия зависит от способности участников такой детско-родительской пары следовать общему коммуникативному ритму [33].

Ряд расстройств в двигательной и когнитивной сферах: речевые и языковые проблемы, аутизм, синдром дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ), нейродегенеративные заболевания, мнестические расстройства, — сопровождаются нарушениями процессов тайминга и сенсомоторной интеграции и синхронизации.

В равной мере вовлечение эмоций в оценку времени может нарушать этот процесс, меняя наше субъективное восприятие времени.

Несмотря на значительное количество работ, посвященных изучению восприятия и воспроизведения временных интервалов, этот вопрос остается недостаточно изученным.

Кроме того, развитие этой важной способности организма в целом и нервной системы, в частности, далеко не в полной мере используется в реабилитации пациентов с различными двигательными и когнитивными расстройствами.

Настоящий обзор представляет собой анализ современных подходов к изучению процессов тайминга и сенсомоторной синхронизации, основных мозговых структур, задействованных в этих процессах, связи их с когнитивными (в частности с управляющими) функциями, а также к изучению влияния эмоциональной окраски стимула на восприятие его длительности.

Все мы ощущаем, что имеем чувство времени, но очевидно, что это чувство отличается от всех остальных. Несмотря на наличие субъективного восприятия времени, не существует специального сенсорного органа для него, аналогичного другим ощущениям (зрению, слуху и др.). Однако значимость этого ощущения несомненна, поскольку мы живем в условиях

постоянного действия различных внешних стимулов, в том числе повторяющихся с различной периодичностью, к которым необходимо адаптироваться. Таким образом, от того, насколько точно человек чувствует течение времени, насколько хорошо у него развита способность к оценке временных интервалов и способность синхронизировать свою активность с внешними объектами, задающими ритм, зависит его приспособленность к окружающей среде и способность предсказывать будущие события, предвидеть появление того или иного явления.

Тайминг, или оценка длительности временных интервалов (interval timing), обычно определяется как различие длительностей в интервалах от секунд до минут, но может быть расширен и до миллисекундных и часовых диапазонов [20]. Существует несколько общепринятых методов оценки чувства времени, тайминга, у человека [23; 33]: вербальная оценка, при которой человек должен оценить длительность целевого предъявляемого интервала словами, используя единицы измерения времени (секунды, минуты); воспроизведение интервала, предъявленного в виде непрерывного звука или вспышки, а затем участник должен воспроизвести его длительность путем некоего действия; продукция интервала, когда экспериментатор описывает временной интервал в неких единицах (секунды, минуты), а участник должен его продемонстрировать каким-то способом (чаще всего это выражается в виде ударов пальцем в начале и конце интервала); сравнение интервалов или длительностей, которое происходит аналогично тому, что используется в традиционной психофизике (участник должен оценить два последовательных интервала на предмет того, длиннее или короче второй по сравнению с первым (эталоном)).

В отечественной литературе используются аналогичные методики, однако термина, подобного англоязычному термину «timing», практически не встречается.

ся. Как правило, используются такие понятия, как чувство времени, чувство ритма, и более узкие термины (сенсомоторная синхронизация) [1]. В связи с этим, в настоящем обзоре (на основании проанализированной литературы) под таймингом будем понимать общую способность человека и некоторых животных к восприятию, воспроизведению и продукции временных интервалов различной модальности (слуховой, зрительной и др.) в широком диапазоне длительностей (от миллисекундных до минутных интервалов).

Подходы к изучению процессов тайминга и сенсомоторной синхронизации

Тайминг принято разделять на перцептивный (*perceptual timing*) и двигательный, или моторный (*motor timing*). Перцептивный тайминг включает в себя сенсорное восприятие либо длительности стимула, либо длительности интервала между стимулами. Моторный тайминг предполагает двигательное выполнение (как правило, это теппинг пальцем или кистью, иногда ногами) ритмического движения синхронно со стимулом с заданным интервалом, либо воспроизведение ритма по памяти, т. е. сенсомоторную синхронизацию.

Сенсомоторная синхронизация (СМС) — это процесс, при котором испытуемые синхронизируют свои действия с внешним ритмом, обычно задаваемым звуковым или зрительным ритмическим стимулом [33; 35].

Формирование сенсомоторной синхронизации происходит в возрасте примерно до 8 лет [4; 14; 31]. Его развитие идет параллельно с развитием речи, письма, двигательных навыков, а также произвольности в поведении ребенка, социальной коммуникации. Так, например, у детей, страдающих синдромом дефицита внимания с гиперактивностью (СДВГ) выявляются сложности с оценкой временных интервалов, их различением и, в целом, отклонения в субъективном восприятии течения времени [7].

Речевые способности также тесно связаны с чувством ритма и таймингом [26]. Например, показано, что у взрослых, страдающих заиканием, слухомоторная синхронизация нарушена [2].

Теппинг пальцем синхронно с внешним ритмом (чаще это звуки метронома) остается весьма популярной парадигмой в изучении двигательного-когнитивного взаимодействия из-за своей простоты и долгой истории. Основные механизмы СМС до сих пор изучаются преимущественно при помощи теппинга пальцем, а дискретная природа этих ударов делает результаты близкими к музыкальному исполнению [35].

В психологических и психофизиологических исследованиях ритмическая активность в основном исследуется с использованием двух типов заданий во время теппинга: спонтанный (произвольный) ритм (*spontaneous motor tempo, SMT*) и задания на сенсомоторную синхронизацию (*sensorimotor synchronization task, SMS*) с ритмами разной частоты (длительности

интервалов). Так, в обзоре Grahn (2012) указано, что наиболее адекватными интервалами для ритмических заданий являются интервалы между стимулами от 200 до 2000 мс [22], однако в разных исследованиях применяются разные параметры звуковых стимулов (табл. 1).

Таблица 1

Используемые в исследованиях частоты задаваемых ритмических стимулов

Параметры предъявляемых ритмических стимулов	Авторы
667 мс (1,5 Гц), 500 мс (2 Гц), 250 мс (2,5 Гц)	Corriveau, Goswami 2009 [9]
2000 мс (0,5 Гц), 667 мс (1,5 Гц), 500 мс (2 Гц), 250 мс (2,5 Гц)	Cosetal., 2015 [10]
667 мс (1,5 Гц), 500 мс (2 Гц)	Tierne, Kraus, 2013 [42]
600 мс, 800 мс	Janzenetal., 2014 [44]
1364 (44 bpm*), 1200 мс (50 bpm)	Zachopoulou, 2000 [13]

Примечание: «*» — bpm (beats per minute), удары в минуту.

Связь тайминга с когнитивными функциями и мозговыми структурами

Восприятие и воспроизведение ритма является согласованным процессом одновременной работы слуховых, моторных и префронтальных областей коры больших полушарий.

Слухомоторная синхронизация предполагает, как тщательность слуховой обработки, для более точной оценки временных интервалов, так и строгий моторный контроль над совершаемым движением, а также тонкую координацию между ними. Как было описано выше, эти процессы играют важную роль в образовании, и их согласованность может влиять на эффективность обучения ребенка.

Очевидно, что для устойчивого удержания точного воспроизведения ритмических последовательностей, интервалов различных длительностей и, в целом, четкого понимания временных соотношений между внешними событиями и собственными ответными реакциями необходимо участие когнитивных и управляющих (исполнительных, *executive functions*) функций. Это предполагает, в частности, соответствующую направленность внимания, способность к его переключению, удержание информации в рабочей памяти, планирование, прогнозирование (в частности, способность к антиципации).

Исследования с применением функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) показали, что при восприятии ритмических стимулов активируются такие анатомические области мозга, как премоторная кора, дополнительная моторная зона (*supplementary motor area, SMA*) и мозжечок, которые играют важную роль в двигательном контроле. Эти данные свидетельствуют о том, что информация о ритме может быть представлена в моторной системе мозга как информация о последовательности движений тела [39].

В целом, участки головного мозга, задействованные в процессах тайминга, достаточно обширны, и включают в себя как корковые, так и подкорковые структуры (рис. 2) [28].

Есть данные о том, что механизмы сенсомоторной синхронизации с быстрыми и медленными ритмами неодинаковы и обеспечиваются различными мозговыми структурами [3; 23; 34].

Более тесная связь с исполнительными функциями доказана для длинных интервалов (более 1 секунды, частота менее 60 уд/мин). Показано, что воспроизведение подобных длительных интервалов вовлекает такие области префронтальной коры (ПФК), которые пересекаются с областями коры, участвующими в осуществлении исполнительных функций [12]. Тем не менее, в некоторых исследованиях показано, что воспроизведение коротких интервалов с периодом менее 1 секунды также требует когнитивного контроля [24], т. е. предполагаются различные нейронные механизмы синхронизации с интервалами менее и более 1 секунды [22; 27; 34]. В частности, перцептивное различие интервалов длиннее 1 секунды предполагает линейное представление о времени, а интервалов короче 1 секунды — нелинейное [27]. В связи с этим авторы полагают, что за это ответственны различные мозговые механизмы, которые часто называют автоматическими (реакция на короткие интервалы) и когнитивными (реакция на длительные интервалы) [34]. Воспроизведение интервалов длительностью более 1 или 2 секунд уже задействует рабочую память и связанные с ней области коры. Так, например,

активность дорсолатеральной префронтальной коры, которая связана с рабочей памятью и другими исполнительными функциями, растет при увеличении длительности интервалов [34]. Эти результаты позволяют предположить, что данная область связана с так называемым «когнитивным» таймингом и, следовательно, с исполнительными функциями.

Особо стоит обратить внимание на роль мозжечка в процессах тайминга и сенсомоторной синхронизации. В последнее время в исследованиях, в том числе проведенных на человеке, было неоднократно показано, что мозжечок является не только двигательным, но также и когнитивным центром нервной системы: с сенсомоторными областями коры он совместно участвует в обеспечении моторного контроля, а с ассоциативной корой — в когнитивных функциях [17]. Показано, что мозжечок, помимо двигательных функций, вовлечен и в процессы вербальной и невербальной рабочей памяти, речи, а также показана его роль в процессах отсчета времени, или тайминга [36], и усвоения последовательности стимулов [6].

Мозжечок, являющийся одной из основных структур мозга, ответственных за тайминг, активируется также и при выполнении задач респондентом на рабочую память и управляющие функции [47]. В частном случае улучшение восприятия времени, через тренировку чувства ритма, приводит к улучшению психофизиологических и когнитивных показателей и улучшению показателей управляющих функций [40]. Управляющие функции могут оказывать влияние на результативность

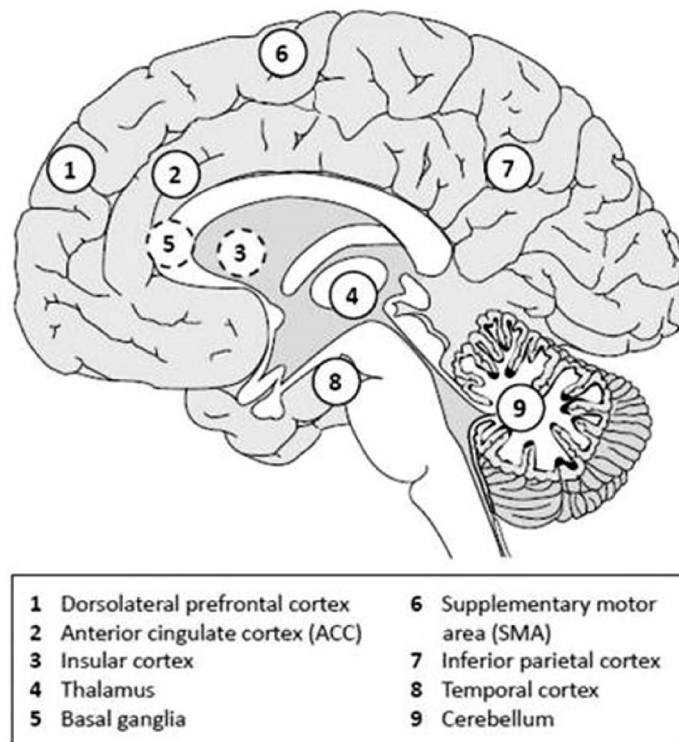


Рис. 2. Корковые и подкорковые структуры, вовлеченные в обработку ритмических стимулов и тайминг [28]:

1 — дорсолатеральная префронтальная кора; 2 — передняя поясная кора; 3 — островковая кора; 4 — таламус; 5 — базальные ганглии; 6 — дополнительная моторная область; 7 — нижняя теменная кора; 8 — височная кора; 9 — мозжечок

выполнения задания на простой ритмический праксис, когда необходимо синхронизировать свои удары с заданным ритмом [15; 44]. Причем управляющие функции участвуют не только в синхронизации собственно движения (удара руки) с заданным ритмом, но и в контроле над реализацией этой синхронности (насколько точно удар попадает в заданный ритм).

По-видимому, различные области мозжечка связаны с разными аспектами тайминга, в частности с его перцептивной (восприятие временных интервалов) и двигательной (собственно выполнение ритмических действий) составляющими (рис. 3) [11].

Помимо перечисленных выше отделов мозга, показана роль еще одной структуры области ствола в процессах сенсомоторной синхронизации — нижней оливы. Это крупное ядро в роstralной части продолговатого мозга. Оно получает входы по нескольким путям от вестибулярной системы, спинного мозга и коры больших полушарий. Нейроны нижней оливы дают начало оливо-мозжечковому тракту, который пересекает среднюю линию мозга и входит в мозжечок через контралатеральную нижнюю ножку. Аксоны этого тракта распределены по всем отделам мозжечка и посылают коллатерали к глубинным ядрам мозжечка и коре мозжечка. Оливо-мозжечковая система вовлечена в неявную оценку времени (*implicit timing*) [21].

Итак, усвоение и воспроизведение ритмичных временных интервалов, относящиеся к функции тайминга, имеют стойкую взаимосвязь с другими исполнительными функциями — рабочей памятью, вниманием, скоростью процессинга. Нарушение функции тайминга тесно связано с нарушениями исполнительных функций.

В исследованиях чувства ритма у детей с повреждениями области мозжечка и ствола (в результате лечения злокачественных опухолей) отмечается тесная связь результатов в заданиях на воспроизведение ритмов с результатами некоторых нейропсихологических тестов [14] и заданий на исполнительные функции, в частности, на процессинг и рабочую память [43].

Связь тайминга с эмоциями

К настоящему времени принято выделять несколько основных когнитивных и аффективных факторов, влияющих на тайминг: направленность внимания, модальность стимула, уровень активации (*arousal*), аффективная валентность (знак эмоции) и др. [20].

Еще Пол Фрасси (1978) писал о том, что тайминг и восприятие времени связаны не только с когнитивными функциями, но и с нашими эмоциональными состояниями [20]. Несмотря на растущие в геометрической прогрессии исследования аспектов, связанных с эмоциями, работы по изучению взаимоотношений между эмоциями и оценкой временных интервалов (*interval timing*) остаются крайне редкими.

Модели внутренних часов (*internal clock models*) говорят о том, что наше ощущение временной перспективы вызвано разными процессами: распределением внимания, скоростью самих часов, нарушениями (искажениями) памяти — и возникает на разных уровнях обработки информации о времени. Разные механизмы приводят к различным поведенческим паттернам [5].

Сегодня принято считать, что когда невременной или эмоциональный стимул (событие) захватывает внимание, то ресурсы по обработке информации могут быть отвлечены от таймера (измерителя времени). Это приводит к тому, что субъективно может казаться, что время течет быстрее, чем на самом деле [5; 32]. Этот укорачивающий эффект может быть объяснен потерей импульсов (сигналов) от пейсмекера из-за переключения внимания.

С другой стороны, субъективное ощущение времени может растягиваться (длительность стимула или события кажется больше) в результате роста активации в организме (*arousal*). В соответствии с моделью внутренних часов особая роль отводится дофаминэргической системе и некоторым другим медиаторам. Так, считается, что дофамин ускоряет ход биологических часов, а холинэргическая система оказывает свое дей-

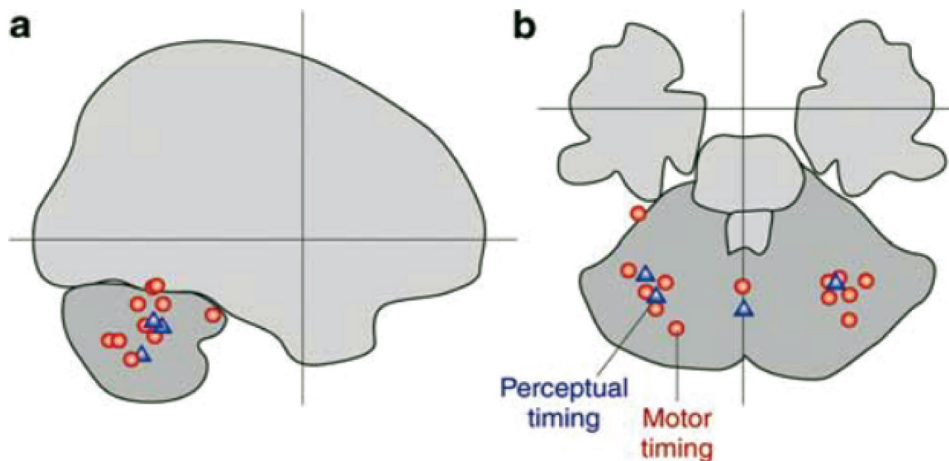


Рис. 3. Локализация участков, связанных с перцептивным и моторным таймингом в мозжечке [11]:

а — вид сбоку (сагиттальный), б — вид снизу. Синие треугольники — области, задействованные в перцептивном тайминге, красные кружки — области, задействованные в моторном тайминге

ствии преимущественно на память о времени [8; 30]. Высвобождение норадреналина, который влияет на процессы внимания, вероятно, воздействует на наше восприятие времени путем изменения задержки (латентности) момента открывания/закрывания переключателя внимания [16].

Направление, выраженность, скорость появления и стойкость нарушений чувства времени могут варьировать в зависимости от того, какие специфические механизмы (внимание, часы, память) изменены в каждом конкретном случае. Главный вопрос заключается в том, какие из этих механизмов вовлечены в воздействие эмоций на восприятие времени с учетом используемого эмоционального стимула.

Для изучения воздействия эмоциональных стимулов чаще всего используют стандартные наборы из международных баз зрительных (IAPS) [29] и слуховых (IADS) [4] стимулов. Так, с использованием базы IADS Noulhianeetal [25] было выявлено, что эмоциональные стимулы длительностью до 4 секунд оцениваются как более длительные по сравнению с нейтральными вне зависимости от их силы (рейтинга по уровню активации, или arousal). Авторы предполагают, что вызванная эмоциями активация временно повышает скорость хода внутренних часов, таким образом приводя к восприятию стимулов как более длительных, до тех пор, пока скорость часов не вернется к исходному уровню через 3—4 секунды. Это одно из первых исследований, в которых показано, что эффект эмоций на восприятие времени может быть относительно короткоживущим и максимален для длительностей стимулов около 2 секунд. Особый интерес в этом исследовании вызывает тот факт, что негативные звуки расцениваются как более длительные по сравнению с позитивными, поскольку, вероятно, негативные вызывают большую активацию.

На эмоциональных изображениях из базы IAPS [41] было показано, что на негативные стимулы человек обращает больше внимания, чем на позитивные, и последние расцениваются как более короткие. Кроме того, измерение кожной проводимости, которая тесно коррелирует с изменениями в эмоциональной сфере, растет с ростом активации. На одном и том же высоком уровне активации эмоции, по-видимому, организуются вокруг двух мотивационных систем: отрицательного подкрепления (защитная, оборонительная) и положительного подкрепления. Следовательно, в условиях высокой активации и отрицательного подкрепления (негативных эмоций), когда запускается защитное двигательное поведение, активизируются способности генерировать быстрые реакции (атака либо избегание). Это приводит к активации вегетативной нервной системы (росту давления, расширению зрачка, повышению тонуса мышц), что будет ассоциироваться с ускорением хода внутренних часов. Действительно, когда нам кажется, что время идет быстрее, то и готовность совершить быструю ответную реакцию возрастает.

В условиях низкой активации захват внимания характеристиками, которые определяют валентность

(знак) эмоционального стимула, уводит процессы обработки информации от оценки времени [5].

Во всех угрожающих ситуациях люди имеют тенденцию переоценивать длительность событий. В подобных ситуациях растет уровень активации, а он ускоряет ход часов и в некоторых случаях привлекает внимание к изменению длительности тех стимулов, которые связаны с вызвавшими страх событиями (больше внимания уходит на то, чтобы оценить по времени те события, которые связаны со страхом, и меньше внимания направлено на тайминг других, нейтральных или приятных событий в это же время).

Несмотря на то, что уровень активации является важным фактором в обеспечении эффектов эмоций на восприятие времени, это не единственный фактор. Дроит и Волететаль (2004) обнаружили, что злые лица приводят к наибольшим ошибкам в оценке времени, испуганные лица стоят на втором месте, далее уже следуют счастливые и печальные лица [19]. Это согласуется с идеями о том, что злость должна вызывать наибольшую активацию.

Таким образом, наше чувство времени фундаментально неотделимо от нашего субъективного ощущения от окружающей среды, и восприятие времени может быть чувствительным показателем базовых функций эмоций.

Возможности развития и коррекции способности к таймингу и сенсомоторной синхронизации

Десятилетия исследований показали, что сенсорные воздействия могут влиять на двигательное обучение и реабилитацию [38]. Меняя сенсорные аспекты окружающей среды, в которой происходит обучение, например, подавая зрительные или слуховые сигналы-подсказки в дополнение к двигательному акту, можно влиять на результативность движения и модулировать эффективность двигательного обучения и реабилитации. Исследования, посвященные ритму и его мозговым субстратам, позволили предположить, что взаимодействия между ритмическим воздействием и двигательной ответной реакцией могут эффективно применяться при реабилитации двигательных расстройств.

Двигательная реабилитация, вообще, широко применяется для развития координации и регуляции обработки сенсорной и моторной информации, что является необходимым для социального взаимодействия, речевой коммуникации и, в целом, для интеграции с окружающей средой [18].

В отношении применения заданий на ритмический праксис в неврологической практике интересными представляются факты о положительной роли тренировок чувства ритма и/или движений под ритмические звуки и музыку при многих заболеваниях. Так, развитие процессов тайминга и сенсомоторной интеграции применяется при следующих нарушениях: СДВГ, аутизм, нарушения слуха, речи, паралич, задержка раз-

вития, дислексия, проблемы в обучении, нейродегенеративные заболевания (болезнь Альцгеймера, деменция, паркинсонизм), инсульт, черепно-мозговые травмы [1; 31]. Кроме того, учитывая, что сенситивный период в развитии данной способности приходится на дошкольный и младший школьный возраст [3; 20; 33], целесообразно развивать способности к слухомоторной синхронизации, чувство ритма и временных интервалов в различных формах активности дошкольников, связанных с движениями под музыку и ритм, что должно способствовать не только развитию их моторной и сенсорной сфер, но и формировать навыки саморегуляции [48].

Заключение

Тайминг в целом, и сенсомоторная синхронизация в частности являются фундаментальными свойствами нервной системы на протяжении всей жизни человека начиная с рождения. Это свойство прежде всего способствует освоению языка, улучшению двигательных навыков и развитию социальных отношений.

Одни исследователи предлагают использовать теорию внутренних часов (*internal clock model*) для объяснения механизмов восприятия времени и тайминга, другие считают, что для объяснения этих механизмов нет необходимости во внутренних часах [22; 23]. То есть, несмотря на то, что исследования тайминга и слухомоторной синхронизации имеют многолетнюю историю, на сегодняшний день нет единого представления о фундаментальных механизмах, лежащих в основе этих явлений.

Общепринятым считается разделение тайминга на сенсорный (восприятие временных интервалов) и моторный (воспроизведение предъявленных интервалов). В данном обзоре акцент был сделан на моторную составляющую, которая в большинстве работ изучается при помощи ударов (теппинга) пальцем или кистью

в соответствии с внешними стимулами (чаще всего зрительными или слуховыми). В последние годы такой подход получил дальнейшее развитие в связи с широким внедрением нейровизуализационных технологий и количественной оценки результативности выполнения различных заданий. В итоге были получены многочисленные данные об анатомических основах тайминга. Более или менее однозначно доказано участие в обеспечении процессов восприятия и воспроизведения временных интервалов таких структур, как базальные ганглии, мозжечок, моторные области коры больших полушарий. Менее очевидна вовлеченность стволовых структур (в частности, оливы), а также отделов мозга, связанных с эмоциями. В целом, большинство исследований влияния эмоциональной окраски внешних стимулов (как зрительных, так и слуховых) на восприятие временных интервалов свидетельствуют о том, что сила и знак эмоции меняет субъективное восприятие длительности их предъявления. В частности, негативные стимулы воспринимаются как более длительно действующие по сравнению с позитивными и нейтральными.

Дискуссионным остается вопрос о механизмах восприятия и воспроизведения интервалов с длительностью более и менее 1 секунды. Тем не менее, большинство авторов предполагают, что оценка коротких интервалов (с длительностью менее 1 секунды) больше связана с сенсорными процессами, а оценка медленных интервалов (более 1 секунды) предполагает вовлечение когнитивных процессов (в частности, рабочей памяти).

В заключение следует отметить, что ритм создает упорядоченность как моторным актам, так и когнитивным операциям; он обеспечивает четкость, экономное расходование ресурсов и поддержку при выполнении всевозможных движений. Это может и должно быть использовано в реабилитации и коррекции самых разных расстройств, при которых выявляются проблемы с чувством времени, нарушение тайминга и сенсомоторной синхронизации.

Литература

1. Ковалева А.В. Физиологические основы восприятия и воспроизведения ритма в неврологии [Электронный ресурс] // Русский медицинский журнал. Неврология. 2018. Т. 26. № 12-1. С. 61—66. URL: https://www.rmj.ru/articles/nevrologiya/Fiziologicheskie_osnovy_vospriyatiya_i_vosproizvedeniya_ritma_v_nevrologii/ (дата обращения: 08.06.2020).
2. Adults who stutter and metronome synchronization: evidence for a nonspeech timing deficit / A.G. Sares [et al.] // *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2019. Vol. 1449. № 1. P. 56—69. DOI:10.1111/nyas.14117
3. Bobin-Bègue A., Droit-Volet S., Provasi J. Young children's difficulties in switching from rhythm production to temporal interval production (> 1 s) // *Frontiers in Psychology*. 2014. Vol. 5. Article ID 1346. 10 p. DOI:10.3389/fpsyg.2014.01346
4. Bradley M., Lang P. International affective digitized sounds (IADS): Stimuli, instruction manual and affective ratings: Technical Report no. b-2. Vol. 803. Gainesville, FL: Center for the Study of Emotion and Attention, University of Florida, 1999. 49 p.
5. Buhusi C.V., Meck W.H. Interval timing with gaps and distracters: evaluation of the ambiguity, switch, and time-sharing hypotheses // *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*. 2006. Vol. 32. № 3. P. 329—338. DOI:10.1037/0097-7403.32.3.329
6. Cerebellum and detection of sequences, from perception to cognition / M. Molinari [et al.] // *The Cerebellum*. 2008. Vol. 7. № 4. P. 611—615. DOI:10.1007/s12311-008-0060-x

7. Clinical Implications of the Perception of Time in Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD): A Review / R. Ptacek [et al.] // *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*. 2019. Vol. 25. P. 3918—3924. DOI:10.12659/MSM.914225
8. Clock speed as a window into dopaminergic control of emotion and time perception / R.K. Cheng [et al.] // *Timing & Time Perception*. 2016. Vol. 4. № 1. P. 99—122. DOI:10.1163/22134468-00002064
9. *Corriveau K.H., Goswami U.* Rhythmic motor entrainment in children with speech and language impairments: tapping to the beat // *Cortex*. 2009. Vol. 45. № 1. P. 119—130. DOI:10.1016/j.cortex.2007.09.008
10. *Cos I., Girard B., Guigon E.* Balancing out dwelling and moving: optimal sensorimotor synchronization // *Journal of Neurophysiology*. 2015. Vol. 114. № 1. P. 146—158. DOI:10.1152/jn.00175.2015
11. *Coull J.T., Cheng R.K., Meck W.H.* Neuroanatomical and neurochemical substrates of timing // *Neuropsychopharmacology*. 2011. Vol. 36. № 1. P. 3—25. DOI:10.1038/npp.2010.113
12. Differential involvement of regions of rostral prefrontal cortex (Brodmann area 10) in time- and event-based prospective memory / J. Okuda [et al.] // *International Journal of Psychophysiology*. 2007. Vol. 64. № 3. P. 233—246. DOI:10.1016/j.ijpsycho.2006.09.009
13. Differentiation of parameters for rhythmic ability among young tennis players, basketball players and swimmers / E. Zachopoulou [et al.] // *European Journal of Physical Education*. 2000. Vol. 5. № 2. P. 220—230. DOI:10.1080/1740898000050208
14. Disrupted sensorimotor synchronization, but intact rhythm discrimination, in children treated for a cerebellar medulloblastoma / J. Provasi [et al.] // *Research in Developmental Disabilities*. 2014. Vol. 35. № 9. P. 2053—2068. DOI:10.1016/j.ridd.2014.04.024
15. Dissociable systems of working memory for rhythm and melody / T.A. Jerde [et al.] // *Neuroimage*. 2011. Vol. 57. № 4. P. 1572—1579. DOI:10.1016/j.neuroimage.2011.05.061
16. Dissociation of the role of the prelimbic cortex in interval timing and resource allocation: beneficial effect of norepinephrine and dopamine reuptake inhibitor nomifensine on anxiety-inducing distraction / A.R. Matthews [et al.] // *Frontiers In Integrative Neuroscience*. 2012. Vol. 6. Article ID 111. 12 p. DOI:10.3389/fnint.2012.00111
17. Distinct and overlapping functional zones in the cerebellum defined by resting state functional connectivity / J.X. O'Reilly [et al.] // *Cerebral Cortex*. 2010. Vol. 20. № 4. P. 953—965. DOI:10.1093/cercor/bhp157
18. *Donnellan A.M., Hill D.A., Leary M.R.* Rethinking autism: implications of sensory and movement differences for understanding and support // *Frontiers in Integrative Neuroscience*. 2013. Vol. 6. Article ID 124. 11 p. DOI:10.3389/fnint.2012.00124
19. *Droit-Volet S., Brunot S., Niedenthal P.* Brief report: Perception of the duration of emotional events // *Cognition and Emotion*. 2004. Vol. 18. № 6. P. 849—858. DOI:10.1080/02699930341000194
20. *Droit-Volet S., Meck W.H.* How emotions colour our perception of time // *Trends in Cognitive Sciences*. 2007. Vol. 11. № 12. P. 504—513. DOI:10.1016/j.tics.2007.09.008
21. Essential tremor, the olivocerebellar system and motor timing—An fMRI study / A. Buijink [et al.] // *Clinical Neurophysiology*. 2016. Vol. 127. № 3. 6 p. DOI:10.1016/j.clinph.2015.10.020
22. *Grahn J.A.* Neural mechanisms of rhythm perception: current findings and future perspectives // *Topics in Cognitive Science*. 2012. Vol. 4. № 4. P. 585—606. DOI:10.1111/j.1756-8765.2012.01213.x
23. *Grondin S.* Timing and time perception: a review of recent behavioral and neuroscience findings and theoretical directions // *Attention, Perception, & Psychophysics*. 2010. Vol. 72. № 3. P. 561—582. DOI:10.3758/APP.72.3.561
24. *Holm L., Ullén F., Madison G.* Motor and executive control in repetitive timing of brief intervals // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 2013. Vol. 39. № 2. P. 365—380. DOI:10.1037/a0029142
25. How Emotional Auditory Stimuli Modulate Time Perception / M. Noulhiane [et al.] // *Emotion*. 2007. Vol. 7. № 4. P. 697—704. DOI:10.1037/1528-3542.7.4.697
26. Individual differences in rhythm skills: links with neural consistency and linguistic ability / T.A. White-Schwoch [et al.] // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2017. Vol. 29. № 5. P. 855—868. DOI:10.1162/jocn_a_01092
27. *Karmarkar U.R., Buonomano D.V.* Timing in the absence of clocks: encoding time in neural network states // *Neuron*. 2007. Vol. 53. № 3. P. 427—438. DOI:10.1016/j.neuron.2007.01.006
28. *Kotz S.A., Ravignani A., Fitch W.T.* The evolution of rhythm processing // *Trends in Cognitive Sciences*. 2018. Vol. 22. № 10. P. 896—910. DOI:10.1016/j.tics.2018.08.002
29. *Lang P.J., Bradley M.M., Cuthbert B.N.* International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. Technical report A-6. Gainesville, FL : NIMH, Center for the Study of Emotion & Attention, 2005.
30. *Martel A.C., Apicella P.* Temporal processing in the striatum: interplay between midbrain dopamine neurons and striatal cholinergic interneurons // *European Journal of Neuroscience*. 2020. 10 p. (In press). DOI:10.1111/ejn.14741
31. *McGrew K., Vega A.* The efficacy of rhythm-based (mental timing) treatments with subjects with a variety of clinical disorders: A brief review of theoretical, diagnostic, and treatment research // *Institute for Applied Psychometrics Research Report*. 2009. № 9. 32 p.
32. *Meck W.H., MacDonald C.J.* Amygdala inactivation reverses fear's ability to impair divided attention and make time stand still // *Behavioral Neuroscience*. 2007. Vol. 121. № 4. P. 707—720. DOI:10.1037/0735-7044.121.4.707

33. *Monier F., Droit-Volet S.* Development of sensorimotor synchronization abilities: Motor and cognitive components // *Child Neuropsychology*. 2019. Vol. 25. № 8. P. 1043—1062. DOI:10.1080/09297049.2019.1569607
34. *Paton J.J., Buonomano D.V.* The neural basis of timing: distributed mechanisms for diverse functions // *Neuron*. 2018. Vol. 98. № 4. P. 687—705. DOI:10.1016/j.neuron.2018.03.045
35. *Repp B.H., Su Y.H.* Sensorimotor synchronization: a review of recent research (2006—2012) // *Psychonomic Bulletin & Review*. 2013. Vol. 20. № 3. P. 403—452. DOI:10.3758/s13423-012-0371-2
36. Roles of the cerebellum in motor preparation and prediction of timing / M. Tanaka [et al.] // *Neuroscience*. 2020. 30 p. (In press). DOI:10.1016/j.neuroscience.2020.04.039
37. *Stoodley C.J., Valera E.M., Schmahmann J.D.* Functional topography of the cerebellum for motor and cognitive tasks: an fMRI study // *Neuroimage*. 2012. Vol. 59. № 2. P. 1560—1570. DOI:10.1016/j.neuroimage.2011.08.065
38. *Sugiyama T., Liew S.L.* The Effects of Sensory Manipulations on Motor Behavior: From Basic Science to Clinical Rehabilitation // *Journal of Motor Behavior*. 2017. Vol. 49. № 1. P. 67—77. DOI:10.1080/00222895.2016.1241740
39. Temporal and motor representation of rhythm in fronto-parietal cortical areas: an fMRI study / N. Konoike [et al.] // *PloS One*. 2015. Vol. 10. № 6. 19 p. DOI:10.1371/journal.pone.0130120
40. *Thaut M.H., Abiru M.* Rhythmic auditory stimulation in rehabilitation of movement disorders: a review of current research // *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*. 2010. Vol. 27. № 4. P. 263—269. DOI:10.1525/mp.2010.27.4.263
41. The influence of affective factors on time perception [Электронный ресурс] / A. Angrilli [et al.] // *Perception & Psychophysics*. 1997. Vol. 59. № 6. P. 972—982. URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.3758/BF03205512.pdf> (дата обращения: 08.06.2020).
42. *Tierney A.T., Kraus N.* The ability to tap to a beat relates to cognitive, linguistic, and perceptual skills // *Brain and language*. 2013. Vol. 124. № 3. P. 225—231. DOI:10.1016/j.bandl.2012.12.014
43. Time perception in children treated for a cerebellar medulloblastoma / S. Droit-Volet [et al.] // *Research in Developmental Disabilities*. 2013. Vol. 34. № 1. P.480—494. DOI:10.1016/j.ridd.2012.09.006
44. Timing skills and expertise: discrete and continuous timed movements among musicians and athletes / T.B. Janzen [et al.] // *Frontiers in Psychology*. 2014. Vol. 5. Article ID 1482. 11 p. DOI:10.3389/fpsyg.2014.01482
45. Understanding time perception through non-invasive brain stimulation techniques: A review of studies / G. Mioni [et al.] // *Behavioural Brain Research*. 2020. Vol. 377. Article ID 112232. 17 p. DOI:10.1016/j.bbr.2019.112232
46. van de Vorst R., Gracco V.L. Atypical non-verbal sensorimotor synchronization in adults who stutter may be modulated by auditory feedback // *Journal of fluency disorders*. 2017. Vol. 53. P. 14—25. DOI:10.1016/j.jfludis.2017.05.004
47. *Vicario C.M.* Cognitively controlled timing and executive functions develop in parallel? A glimpse on childhood research // *Frontiers in Behavioral Neuroscience*. 2013. Vol. 7. Article ID 146. 4 p. DOI:10.3389/fnbeh.2013.00146
48. *Williams K.E.* Moving to the beat: Using music, rhythm, and movement to enhance self-regulation in early childhood classrooms // *International Journal of Early Childhood*. 2018. Vol. 50. № 1. P. 85—100. DOI:10.1007/s13158-018-0215-y

References

1. Kovaleva A.V. Fiziologicheskie osnovy vospriyatiya i vosproizvedeniya ritma v nevrologii [Physiological basis of perception and reproduction of rhythm in neurology] [Elektronnyi resurs]. *Russkii meditsinskii zhurnal. Nevrologiya = Russian Medical Journal. Neurology*, 2018. Vol. 26, no. 12-1, P. 61—66. URL: https://www.rmj.ru/articles/nevrologiya/Fiziologicheskie_osnovy_vospriyatiya_i_vosproizvedeniya_ritma_v_nevrologii/ (Accessed 08.06.2020). (In Russ.).
2. Sares A.G. et al. Adults who stutter and metronome synchronization: evidence for a nonspeech timing deficit. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2019. Vol. 1449, no. 1, pp. 56—69. DOI:10.1111/nyas.14117
3. Bobin-Bègue A., Droit-Volet S., Provasi J. Young children's difficulties in switching from rhythm production to temporal interval production (> 1 s). *Frontiers in psychology*, 2014. Vol. 5, article ID 1346, 10 p. DOI:10.3389/fpsyg.2014.01346
4. Bradley M., Lang P. International affective digitized sounds (IADS): Stimuli, instruction manual and affective ratings: Technical Report no. b-2: Vol. 803. 1999. 49 p.
5. Buhusi C.V., Meck W.H. Interval timing with gaps and distracters: evaluation of the ambiguity, switch, and time-sharing hypotheses. *Journal of experimental psychology: Animal behavior processes*, 2006. Vol. 32, no. 3, pp. 329—338. DOI:10.1037/0097-7403.32.3.329
6. Molinari M. et al. Cerebellum and detection of sequences, from perception to cognition. *The Cerebellum*, 2008. Vol. 7, no. 4, pp. 611—615. DOI:10.1007/s12311-008-0060-x
7. Ptacek R. et al. Clinical Implications of the Perception of Time in Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD): A Review. *Medical science monitor: international medical journal of experimental and clinical research*, 2019. Vol. 25, pp. 3918—3924. DOI:10.12659/MSM.914225
8. Cheng R.K. et al. Clock speed as a window into dopaminergic control of emotion and time perception. *Timing & Time Perception*, 2016. Vol. 4, no. 1, pp. 99—122. DOI:10.1163/22134468-00002064
9. Corriveau K.H., Goswami U. Rhythmic motor entrainment in children with speech and language impairments: tapping to the beat. *Cortex*, 2009. Vol. 45, no. 1, pp. 119—130. DOI:10.1016/j.cortex.2007.09.008

10. Cos I., Girard B., Guigon E. Balancing out dwelling and moving: optimal sensorimotor synchronization. *Journal of neurophysiology*, 2015. Vol. 114, no. 1, pp. 146—158. DOI:10.1152/jn.00175.2015
11. Coull J.T., Cheng R.K., Meck W.H. Neuroanatomical and neurochemical substrates of timing. *Neuropsychopharmacology*, 2011. Vol. 36, no. 1, pp. 3—25. DOI:10.1038/npp.2010.113
12. Okuda J. et al. Differential involvement of regions of rostral prefrontal cortex (Brodmann area 10) in time- and event-based prospective memory. *International Journal of Psychophysiology*, 2007. Vol. 64, no. 3, pp. 233—246. DOI:10.1016/j.ijpsycho.2006.09.009
13. Zachopoulou E. et al. Differentiation of parameters for rhythmic ability among young tennis players, basketball players and swimmers. *European Journal of Physical Education*, 2000. Vol. 5, no. 2, pp. 220—230. DOI:10.1080/1740898000050208
14. Provasi J. et al. Disrupted sensorimotor synchronization, but intact rhythm discrimination, in children treated for a cerebellar medulloblastoma. *Research in developmental disabilities*, 2014. Vol. 35, no. 9, pp. 2053—2068. DOI:10.1016/j.ridd.2014.04.024
15. Jerde T.A. et al. Dissociable systems of working memory for rhythm and melody. *Neuroimage*, 2011. Vol. 57, no. 4, pp. 1572—1579. DOI:10.1016/j.neuroimage.2011.05.061
16. Matthews A.R. et al. Dissociation of the role of the prelimbic cortex in interval timing and resource allocation: beneficial effect of norepinephrine and dopamine reuptake inhibitor nomifensine on anxiety-inducing distraction. *Frontiers in integrative neuroscience*, 2012. Vol. 6, article ID 111, 12 p. DOI:10.3389/fnint.2012.00111
17. O'Reilly J.X. et al. Distinct and overlapping functional zones in the cerebellum defined by resting state functional connectivity. *Cerebral cortex*, 2010. Vol. 20, no. 4, pp. 953—965. DOI:10.1093/cercor/bhp157
18. Donnellan A.M., Hill D.A., Leary M.R. Rethinking autism: implications of sensory and movement differences for understanding and support. *Frontiers in integrative neuroscience*, 2013. Vol. 6, 11 p. DOI:10.3389/fnint.2012.00124
19. Droit-Volet S., Brunot S., Niedenthal P. Brief report: Perception of the duration of emotional events. *Cognition and Emotion*, 2004. Vol. 18, no. 6, pp. 849—858. DOI:10.1080/02699930341000194
20. Droit-Volet S., Meck W.H. How emotions colour our perception of time. *Trends in cognitive sciences*, 2007. Vol. 11, no. 12, pp. 504—513. DOI:10.1016/j.tics.2007.09.008
21. Buijink A. et al. Essential tremor, the olivocerebellar system and motor timing — An fMRI study. *Clinical Neurophysiology*, 2016. Vol. 127, no. 3, 6 p. DOI:10.1016/j.clinph.2015.10.020
22. Grahn J.A. Neural mechanisms of rhythm perception: current findings and future perspectives. *Topics in cognitive science*, 2012. Vol. 4, no. 4, pp. 585—606. DOI:10.1111/j.1756-8765.2012.01213.x
23. Grondin S. Timing and time perception: a review of recent behavioral and neuroscience findings and theoretical directions. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 2010. Vol. 72, no. 3, pp. 561—582. DOI:10.3758/APP.72.3.561
24. Holm L., Ullén F., Madison G. Motor and executive control in repetitive timing of brief intervals. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2013. Vol. 39, no. 2, pp. 365—380. DOI:10.1037/a0029142
25. Noulhiane M. et al. How Emotional Auditory Stimuli Modulate Time Perception. *Emotion*, 2007. Vol. 7, no. 4, pp. 697—704. DOI:10.1037/1528-3542.7.4.697
26. White-Schwoch T.A. et al. Individual differences in rhythm skills: links with neural consistency and linguistic ability. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2017. Vol. 29, no. 5, pp. 855—868. DOI:10.1162/jocn_a_01092
27. Karmarkar U.R., Buonomano D.V. Timing in the absence of clocks: encoding time in neural network states. *Neuron*, 2007. Vol. 53, no. 3, pp. 427—438. DOI:10.1016/j.neuron.2007.01.006
28. Kotz S.A., Ravignani A., Fitch W.T. The evolution of rhythm processing. *Trends in cognitive sciences*, 2018. Vol. 22, no. 10, pp. 896—910. DOI:10.1016/j.tics.2018.08.002
29. Lang P.J., Bradley M.M., Cuthbert B.N. International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. Technical report A-6. Gainesville, FL.: NIMH, Center for the Study of Emotion & Attention, 2005.
30. Martel A.C., Apicella P. Temporal processing in the striatum: interplay between midbrain dopamine neurons and striatal cholinergic interneurons. *European Journal of Neuroscience*, 2020. 10 p. (In press). DOI:10.1111/ejn.14741
31. McGrew K., Vega A. The efficacy of rhythm-based (mental timing) treatments with subjects with a variety of clinical disorders: A brief review of theoretical, diagnostic, and treatment research. Institute for Applied Psychometrics Research Report. 2009, no. 9, 32 p.
32. Meck W.H., MacDonald C.J. Amygdala inactivation reverses fear's ability to impair divided attention and make time stand still. *Behavioral neuroscience*, 2007. Vol. 121, no. 4, pp. 707—720. DOI:10.1037/0735-7044.121.4.707
33. Monier F., Droit-Volet S. Development of sensorimotor synchronization abilities: Motor and cognitive components. *Child Neuropsychology*, 2019. Vol. 25, no. 8, pp. 1043—1062. DOI:10.1080/09297049.2019.1569607
34. Paton J.J., Buonomano D.V. The neural basis of timing: distributed mechanisms for diverse functions. *Neuron*, 2018. Vol. 98, no. 4, pp. 687—705. DOI:10.1016/j.neuron.2018.03.045
35. Repp B.H., Su Y.H. Sensorimotor synchronization: a review of recent research (2006—2012). *Psychonomic bulletin & review*, 2013. Vol. 20, no. 3, pp. 403—452. DOI:10.3758/s13423-012-0371-2
36. Tanaka M. et al. Roles of the cerebellum in motor preparation and prediction of timing. *Neuroscience*, 2020. 30 p. (In press). DOI:10.1016/j.neuroscience.2020.04.039

37. Stoodley C.J., Valera E.M., Schmahmann J.D. Functional topography of the cerebellum for motor and cognitive tasks: an fMRI study. *Neuroimage*, 2012. Vol. 59, no. 2, pp. 1560—1570. DOI:10.1016/j.neuroimage.2011.08.065
38. Sugiyama T., Liew S.L. The Effects of Sensory Manipulations on Motor Behavior: From Basic Science to Clinical Rehabilitation. *Journal of motor behavior*, 2017. Vol. 49, no. 1, pp. 67—77. DOI:10.1080/00222895.2016.1241740
39. Konoike N. et al. Temporal and motor representation of rhythm in fronto-parietal cortical areas: an fMRI study. *PloS one*, 2015. Vol. 10, no. 6, 19 p. DOI:10.1371/journal.pone.0130120
40. Thaut M.H., Abiru M. Rhythmic auditory stimulation in rehabilitation of movement disorders: a review of current research. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 2010. Vol. 27, no. 4, pp. 263—269. DOI:10.1525/mp.2010.27.4.263
41. Angrilli A. et al. The influence of affective factors on time perception [Электронный ресурс]. *Perception & psychophysics*, 1997. Vol. 59, no. 6, pp. 972—982. URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.3758/BF03205512.pdf> (Accessed 08.06.2020).
42. Tierney A.T., Kraus N. The ability to tap to a beat relates to cognitive, linguistic, and perceptual skills. *Brain and language*, 2013. Vol. 124, no. 3, pp. 225—231. DOI:10.1016/j.bandl.2012.12.014
43. Droit-Volet S. et al. Time perception in children treated for a cerebellar medulloblastoma. *Research in developmental disabilities*, 2013. Vol. 34, no. 1, pp.480—494. DOI:10.1016/j.ridd.2012.09.006
44. Janzen T.B. et al. Timing skills and expertise: discrete and continuous timed movements among musicians and athletes. *Frontiers in psychology*, 2014. Vol. 5, article ID 1482, 11 p. DOI:10.3389/fpsyg.2014.01482
45. Mioni G. et al. Understanding time perception through non-invasive brain stimulation techniques: A review of studies. *Behavioural brain research*, 2020. Vol. 377, article ID 112232. 17 p. DOI:10.1016/j.bbr.2019.112232
46. Van de Vorst R., Gracco V.L. Atypical non-verbal sensorimotor synchronization in adults who stutter may be modulated by auditory feedback. *Journal of fluency disorders*, 2017. Vol. 53, pp. 14—25. DOI:10.1016/j.jfludis.2017.05.004
47. Vicario C.M. Cognitively controlled timing and executive functions develop in parallel? A glimpse on childhood research. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 2013. Vol. 7, article ID 146, 4 p. DOI:10.3389/fnbeh.2013.00146
48. Williams K.E. Moving to the beat: Using music, rhythm, and movement to enhance self-regulation in early childhood classrooms. *International Journal of Early Childhood*, 2018. Vol. 50, no. 1, pp. 85—100. DOI:10.1007/s13158-018-0215-y

Информация об авторах

Ковалева Анастасия Владимировна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии функциональных состояний человека, Научно-исследовательский институт нормальной физиологии имени П.К. Анохина (ФГБНУ «НИИИФ» имени П.К. Анохина), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7377-3408>, e-mail: a.kovaleva@nphys.ru

Information about the authors

Anastasia V. Kovaleva, PhD in Biology, Senior Researcher, P.K. Anokhin Research Institute of Normal Physiology, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7377-3408>, e-mail: a.kovaleva@nphys.ru

Получена 01.04.2020

Received 01.04.2020

Принята в печать 08.05.2020

Accepted 08.05.2020

Принятие решения в условиях неопределенности: стратегии исследования и использования

Сайфулина К.Э.

*Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2017-0811>, e-mail: kseniasayfulina@gmail.com*

Козунова Г.Л.

*Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1286-8654>, e-mail: chukhutova@gmail.com*

Медведев В.А.

*Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3252-8809>, e-mail: ixdon@yandex.ru*

Рытикова А.М.

*Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0153-9457>, e-mail: ann.zelener@mail.ru*

Чернышев Б.В.

*Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ),
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ имени М.В. Ломоносова); Национальный
исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8267-3916>, e-mail: b_chernysh@mail.ru*

Принятие человеком решений в условиях дефицита информации сопряжено с построением, проверкой и уточнением гипотез. В новой среде субъект сталкивается с высоким уровнем неопределенности, поэтому поведение должно быть вариабельным: это позволяет собирать информацию о закономерностях среды и находить наиболее выгодные опции. Такое поведение соответствует стратегии исследования. После формирования внутренней модели среды становится оправданной стратегия использования — т. е. применение выгодных опций, уже известных субъекту. В меняющейся или сложной среде оптимально применять обе стратегии попеременно. Баланс этих двух стратегий активно изучается в психологии, нейробиологии, нейроэкономике. В данном обзоре мы рассмотрим факторы, влияющие на баланс между стратегиями исследования и использования, механизмы принятия решения в условиях неопределенности, нейрофизиологические основы поддержания стратегий исследования/использования и переключения между ними, осветим роль основных задействованных в этих процессах областей мозга и нейромедиаторов.

Ключевые слова: неопределенность, принятие решения, стратегии исследования и использования, норадреналин, дофамин, ацетилхолин.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ) в рамках научного проекта №20-18-00252.

Благодарности: Авторы благодарят Т.А. Строганову за неоценимый вклад в инициацию и продвижение исследования нейрокогнитивных механизмов принятия решений на базе МЭГ-центра.

Для цитаты: Принятие решения в условиях неопределенности: стратегии исследования и использования [Электронный ресурс] / К.Э. Сайфулина, Г.Л. Козунова, В.А. Медведев, А.М. Рытикова, Б.В. Чернышев // Современная зарубежная психология. 2020. Том 9. № 2. С. 93–106. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090208>

Decision making under uncertainty: exploration and exploitation

Ksenia E. Sayfulina

*Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2017-0811>, e-mail: kseniasayfulina@gmail.com*

Galina L. Kozunova

Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1286-8654>, e-mail: chukhutova@gmail.com

Vladimir A. Medvedev

Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3252-8809>, e-mail: ixdon@yandex.ru

Anna M. Rytikova

Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0153-9457>, e-mail: ann.zelener@mail.ru

Boris V. Chernyshev

Moscow State University of Psychology & Education; Lomonosov Moscow State University;
National Research University «Higher School of Economics», Moscow, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8267-3916>, e-mail: b_chernysh@mail.ru

Decision-making under conditions of the lack of sufficient information is associated with hypotheses construction, verification and refinement. In a novel environment subjects encounter high uncertainty; thus their behavior needs to be variable and aimed at testing the range of multiple options available; such variability allows acquiring information about the environment and finding the most beneficial options. This type of behavior is referred to as exploration. As soon as the internal model of the environment has been formed, the other strategy known as exploitation becomes preferential; exploitation presupposes using profitable options that have already been discovered by the subject. In a changing or complex (probabilistic) environment, it is important to combine these two strategies: research strategies to detect changes in the environment and utilization strategies to benefit from the familiar options. The exploration-exploitation balance is a hot topic in psychology, neurobiology, and neuroeconomics. In this review, we discuss factors that influence exploration-exploitation balance and its neurophysiological basis, decision-making mechanisms under uncertainty, and switching between them. We address the roles of major brain areas involved in these processes such as locus coeruleus, anterior cingulate cortex, frontopolar cortex, and we describe functions of some important neurotransmitters involved in these processes — dopamine, norepinephrine, and acetylcholine.

Keywords: uncertainty, decision-making, exploration-exploitation trade-off, norepinephrine, dopamine, acetylcholine.

Funding: The reported study was funded by Russian Science Foundation (RSF), project number 14-06-14029.

Acknowledgements: The authors are grateful to Stroganova T.A. for her great contribution to research on neurocognitive mechanisms of decision-making in the Moscow MEG center.

For citation: Sayfulina K.E., Kozunova G.L., Medvedev V.A., Rytikova A.M., Chernyshev B.V. Decision making under uncertainty: exploration and exploitation [Elektronnyi resurs]. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya* = *Journal of Modern Foreign Psychology*, 2020. Vol. 9, no. 2, pp. 93—106. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090208> (In Russ.; Abstr. in Engl.).

Три способа принятия решения в условиях дефицита информации

Многие ситуации реальной жизни вынуждают человека делать выбор, несмотря на недостаточную осведомленность о его возможных последствиях.

Ограниченный индивидуальный опыт позволяет субъекту учесть лишь часть факторов, которые влияют на результат. В этом случае решение принимается на основе субъективного вероятностного прогноза — иначе говоря, интуитивно [42]. Поведенческий ответ в условиях неопределенности может быть сформирован тремя способами: логическим, статистическим и эвристическим [16]. Каждый из этих способов имеет свои ограничения и допускает возможность различных ошибок.

Логический поиск решения оптимален лишь при наличии исчерпывающей информации. Он линеен,

схематичен, длителен и требует высокой концентрации внимания. При формировании суждений некоторые критически важные обстоятельства могут быть упущены из виду.

Недостатки логического мышления становятся очевидными при столкновении человека с известными экономическими парадоксами [1]. Например, два товара стоят вместе 1 доллар и 10 центов. Один из них на 1 доллар дороже другого. Какова стоимость каждого из них по отдельности? Более половины успешно обучающихся студентов престижных американских университетов с уверенностью отвечали, что первый стоил 1 доллар, а второй — 10 центов. Они буквально не замечали, что разница между 1 долларом и 10 центами принципиально не может равняться 1 доллару. Эта типичная ошибка объясняется склонностью большинства людей к упрощению информации, окру-

глению чисел, следованию привычным стереотипам мышления.

Другой способ принятия решения — статистический [5]. В этом случае субъект делает выбор, основываясь только на собственном, по определению ограниченном, опыте проб и ошибок. Каждый текущий исход обновляет внутреннюю модель ситуации, на основе которой будет сделан следующий выбор. При этом действуют базовые механизмы обучения с подкреплением: часто подкрепляемое поведение повторяется, а редко вознаграждаемое — угасает [28]. Экспериментально показано, что к успешному вероятностному прогнозированию на основе частотности событий способны очень маленькие дети на предречевом этапе онтогенеза и животные с высоким уровнем развития нервной системы [16].

Еще менее надежен эвристический способ принятия решений, в основе которого лежит формирование эвристик — ассоциаций между похожими или совпадающими по времени событиями. Случайное сходство единичного события с предупреждающим сигналом о награде или наказании из прошлого опыта субъекта сообщает ему субъективную ценность, хотя такая аналогия может быть неправомерна.

При всей своей ненадежности эвристики имеют одно ключевое преимущество перед логическим и статистическим способами принятия решения: они не требуют длительного накопления опыта. При удачном стечении обстоятельств они позволяют человеку или животному быстро сформировать оптимальный поведенческий ответ в незнакомой среде [53].

Эвристический способ принятия решений может лежать в основе рискованного поведения, как человека, так и животных. В качестве примера можно привести феномен склонности голубей к риску [63]. При выборе из двух альтернатив птицы отдавали предпочтение той из них, которая была сопряжена с низкими (20%) шансами получить большую награду, отказываясь от гарантированного, но скромного подкрепления.

Интересно, что содержание голубей в обогащенной среде вместе с другими особями уменьшает у них число неоптимальных выборов. Можно предполагать, что избыток разнообразных ассоциаций в обогащенной среде естественным образом способствует элиминации неэффективных связей.

Склонность к выборам с низкими шансами получить большую награду также характерна для азартных игроков [64].

Неопределенность как характеристика ситуаций реальной жизни

В отличие от заведомо безопасной (во всяком случае, для человека) экспериментальной комнаты, в реальной жизни невыгодные решения могут приводить к значительным потерям. Самые драматические последствия человеческих ошибок наблюдаются в

медицинской диагностике, политике, судебной экспертизе.

Также неопределенность исхода является неотъемлемой частью спортивных соревнований и творческих конкурсов. С ней повсеместно сталкиваются профессионалы в бизнесе и специалисты по подбору кадров.

Неопределенность крайне важна в контексте нейроэкономики. Часто она является неотъемлемой характеристикой среды для человека как потребителя. Изобилие взаимозаменяемых товаров, продуктов и изделий ставит современного потребителя перед беспрецедентным количеством вариантов выбора. Человек вынужден принимать решение о том, покупать ли уже знакомый продукт или попробовать что-нибудь новое; он должен выбирать между несколькими вариантами, делать прогнозы на основе множества противоречивых данных. Доля неопределенности остается и после окончательного принятия решения, поскольку, выбирая одно, человек неизбежно лишается другого. Был ли сделанный выбор оптимальным — неизвестно. Эта дилемма не устраняется и в случае приобретения сразу нескольких сопоставимых товаров, поскольку это подразумевает отказ от денег, потраченных на дополнительную покупку. Избыточная когнитивная нагрузка делает потребителей уязвимыми для разнообразных маркетинговых технологий.

Активное построение гипотез на основе индивидуального опыта

Принятие решений в условиях неопределенности стало предметом систематических научных исследований с начала 1970-х гг. Начало этому направлению положили фундаментальные работы американского психолога Д. Канемана, в 2002 г. удостоенного Нобелевской премии за вклад в развитие экономических наук.

Согласно классической концепции Канемана, неопределенность включает в себя два компонента: внешний и внутренний [27]. Внешнюю неопределенность обуславливают случайные условия окружающей обстановки, которые субъект не может контролировать или влиять на них. Внутренняя неопределенность устанавливается субъективной неосведомленностью индивида об обстоятельствах, в которых он находится.

Для оптимального поведения важна оценка субъектом собственной компетентности в решении задачи. Способность к такой оценке проявляют даже животные.

Например, в одном из экспериментов [62] крысы делали выбор между легкодоступной, но небольшой наградой и шансом получить большую награду за решение задачи, уровень сложности которой варьировался. Грызуны предпочитали трудную, но «высокооплачиваемую» задачу лишь до тех пор, пока нагрузка не превышала объем их рабочей памяти. Сталкиваясь с непосильными требованиями, они переключались на

простую задачу с гарантированным маленьким подкреплением.

То есть, крысы продемонстрировали способность регулировать уровень неопределенности, учитывая собственные когнитивные возможности. Такие способности формируют особый тип поведения, целью которого является уменьшение внутренней неопределенности [44].

Живые организмы развиваются в сложной вероятностной среде, адаптироваться к которой только на основании индивидуального опыта невозможно.

Базовым механизмом психики, преодолевающим ограниченность обучения с подкреплением, является *активное построение внутренней модели среды*.

Это понятие значительно шире, чем сознательный логический вывод. Внутренняя модель является отражением разнообразия возможных состояний среды и Байесовских прогнозов вероятности для каждого из них [44].

Например, в зрительном восприятии часто встречающиеся комбинации признаков формируют в системе распознавания образов некий прототип, который оказывает сильное влияние на последующий процесс обработки зрительной информации. Воспринимая изображение, наблюдатель как бы ищет подтверждения уже существующей у него догадке, производя «бессознательное умозаключение», как назвал его Г. Гельмгольд [31].

Аналогичные процессы прогностического кодирования сопровождают распознавание устной и письменной речи [48]. В определенном смысле репрезентация внешних условий присуща любым самоорганизующимся системам, в частности, одноклеточным организмам.

Для объяснения саморегуляции поведения организмов нейробиология позаимствовала из кибернетики «теорему о хорошем регуляторе» [13]. Согласно ей, эффективная управляющая система должна являться адекватной моделью среды, с которой она взаимодействует.

Благодаря наличию прогностической модели, восприятие высоковероятных событий облегчается, а маловероятных затрудняется, что и порождает внутренний конфликт. Расхождения текущих ощущений с предварительным прогнозом ставит субъекта перед необходимостью пересмотра внутренней модели среды. Число и величина таких несоответствий задают степень неопределенности ситуации.

Считается, что всем организмам имманентно присуще стремление минимизировать эту разницу, поскольку неожиданность несет в себе потенциальную угрозу для сохранения целостности живой системы. Поэтому организмы активно отбирают (или с тем же результатом игнорируют) информацию из окружающей среды, для того чтобы уменьшить для себя ее неопределенность, или «свободную энергию» в терминологии К. Фристана [44].

В свете этой концепции любой выбор субъекта несет в себе не только прагматическую ценность

(немедленную награду или наказание), но и эпистемическую (повышение осведомленности).

Принятие решения в рамках стратегии исследования и стратегии использования (exploration-exploitation trade-off)

В целенаправленном поведении человека и животных можно выделить две диаметрально противоположных стратегии: использование (exploitation) и исследование (exploration) [4]. Стратегия использования — это применение знакомой выгодной опции. В рамках такой стратегии субъект раз за разом совершает один и тот же выбор, который по опыту оказался лучше всех остальных альтернатив. Этот выбор сопряжен с минимальной степенью неопределенности — т. е. гарантированно или с высокой вероятностью приносит вознаграждение [45].

Вторая стратегия — стратегия исследования — это поиск новых возможностей. В рамках такой стратегии субъект переключается между разными вариантами выбора, пробует незнакомые опции и имеет дело с высоким уровнем неопределенности. Тем самым стратегия исследования, в отличие от стратегии использования, позволяет получить новую информацию.

Экспериментальные парадигмы для изучения стратегий исследования и использования

В реальных ситуациях стратегии исследования и использования попеременно сменяют друг друга.

Стратегия использования обеспечивает приток положительных подкреплений в краткосрочной перспективе, а поиск новых возможностей открывает путь к отсроченной награде [8]. Например, копытным животным важно исследовать новые территории в летний сезон, когда доступно много разнообразной пищи. Даже не обнаружив ее в новом месте, они получают прогностически важную информацию. Зимой, когда цена ошибочного решения несопоставимо возрастает, животное будет опираться на накопленный за лето опыт. Повышенная склонность к риску и поиску новых впечатлений, характерные для подростков, расширяет их жизненный опыт, который может быть использован в зрелом возрасте [49]. Взаимные переходы между стратегиями использования и исследования наблюдаются в процессе решения практически любых новых задач.

В экспериментальных исследованиях принятия решения человеком часто используют модель тотализатора с двумя или несколькими «рычагами» («N-armed bandit task», «задача с многоруким бандитом») [55]. Испытуемому предлагается делать ставки, выбирая любой из двух или более «рычагов» (вместо «рычагов» могут быть стимулы на экране). Величина выигрыша при выборе каждой альтернативы варьируется в соответствии с кривой нормального распределения неза-

висимо от предыдущего выбора. Один рычаг систематически приносит больше прибыли, чем другие. Испытуемым необходимо эмпирически его определить, чтобы выиграть как можно больше очков или денег за фиксированное время.

В другом варианте задачи («restless bandit task») приоритетность рычагов постепенно меняется в течение игры. Наиболее выгодная в начале опция теряет свою ценность, уступая первенство другой. В этом случае испытуемым необходимо в подходящий момент перестроить стратегию выбора.

Типичный игрок в первых нескольких пробах хаотично переключается с одного рычага на другой, а затем у него вырабатывается устойчивое предпочтение наиболее выгодной альтернативы. Лишь иногда он возвращается к другим рычагам [4]. Обучившись — т. е. поняв, какая из опций выгоднее, — игрок переключается от стратегии исследования к стратегии использования и большую часть времени следует ей. Но возвращения к другим рычагам — случаи исследования — происходят и после обучения. В целом, выбор стратегии большинством испытуемых подтверждает философско-экономические размышления выдающегося исследователя XVIII века Даниэля Бернулли [1]: человек с готовностью рискует, пока ему практически нечего терять, однако по мере накопления дохода он все больше избегает неопределенности. Интересно, что в этой парадигме эксперимента люди и животные (макаки) вели себя сходным образом. У тех и других пропорция «исследовательских» выборов составляла около 25% [39].

Еще одной экспериментальной моделью для изучения стратегий исследования и использования является парадигма «наблюдай или делай ставку» (observe-or-bet) [47]. У испытуемого есть выбор: наблюдать исход, ассоциированный с выбранным стимулом, при этом не получая ни награды, ни штрафа, или выбрать стимул (сделать ставку), получив награду в случае правильного выбора. Первый вариант считается исследованием, второй — использованием. В одном из вариантов такого эксперимента перед испытуемым две лампочки; в каждой пробе он может либо просто наблюдать, какая лампочка загорится, в результате получая информацию о вероятностях включения каждой из двух лампочек, либо попробовать угадать, какая из лампочек загорится, и в случае правильного предположения он получает деньги, а в случае неправильного — теряет [9].

Третья экспериментальная парадигма для изучения баланса исследования/использования — это «задача с часами» (clock task) [21]. Испытуемым показывают циферблат часов, по которому движется стрелка; в одной пробе стрелка преодолевает пятисекундный интервал. Стрелку можно остановить в любом положении внутри интервала и получить награду. Величина награды и ее вероятность — функции от времени реакции. Например, чем дальше стрелка, т. е. чем больше время реакции, тем выше награда и ниже вероятность ее получить. В этом случае использованием считаются ответы с маленьким временем реакции, приносящие

маленькую гарантированную награду, а исследованием — ответы с увеличенным временем реакции, приносящие большую награду, но редко.

В целом, для экспериментального изучения стратегий исследования можно использовать практически любые задачи с вероятностной структурой обучения, любые «гемблинг-задачи», где вероятность выигрыша при выборе разных опций отличается.

Факторы, влияющие на баланс стратегий исследования и использования

Факторы, играющие роль в переключении между стратегиями исследования и использования, можно разделить на три группы: средовые, индивидуальные (личностные характеристики) и социальные [60].

К *факторам среды* можно отнести истощение ресурсов: если выбираемая ранее опция перестала быть выгодной (например, у крысы в кормушке закончилась еда, на поле кони съели всю траву), это толкает субъекта на то, чтобы переключиться со стратегии использования на стратегию исследования.

Кроме того, важным фактором является соотношение выгод и рисков исследования и использования (а также самого переключения). Так, животные меньше исследуют территории в поисках пищи, если высок риск нападения хищников [61].

Кроме того, важную роль играет стабильность/предсказуемость среды: если условия быстро меняются, это толкает к исследованию [23]. Влияет также доступная информация о разных вариантах: ситуация, когда выбор в рамках стратегии исследования несет только информацию (например, в парадигме «наблюдай или делай ставку»), отличается от ситуации, когда такой выбор несет информацию, но при этом сопряжен с рисками проигрыша (например, в парадигме многоорукого бандита).

К *индивидуальным факторам* относятся когнитивные способности, текущее состояние организма, предыдущий опыт, психические характеристики; есть исследования, согласно которым склонность к исследованию снижается с возрастом [34], а также что девочки менее склонны к *стратегии исследования*, чем мальчики [52]. Кроме того, на баланс стратегий исследования—использования влияет уровень нейромедиаторов: у животных и у людей высокий уровень дофамина связан со сниженной исследовательской активностью, а низкий — с повышенной [24]. Индивиды с дефицитом навыков самоконтроля и планирования, нетерпимые к отсрочке награды (по результатам опросников) совершали меньше «исследовательских» выборов в задаче с многоруким бандитом [4]. Дети, которые в младенческом возрасте воспитывались в социальных учреждениях, также продемонстрировали дефицит поискового поведения [19]. Аналогичные тенденции описаны у испытуемых с никотиновой и алкогольной зависимостью [54].

Социальные факторы, влияющие на баланс исследования—использования у человека, рассматриваются достаточно редко — вероятно, отчасти по причине сложности изучения в условиях лаборатории.

Среди социальных животных склонность к исследованию либо использованию часто определяется социальной ролью: например, у муравьев и птиц есть особи, специализирующиеся на исследовании и использовании [14]: первые ищут новые источники пищи, а вторые пользуются уже найденными.

Физиологические механизмы стратегий исследования и использования

Нейроанатомия и теории, описывающие возможные механизмы исследования и использования

Одной из ключевых областей мозга, связанных с балансом исследования и использования, считается голубое пятно — основной источник норадреналина в головном мозге.

Эстон-Джонс с соавторами [7; 32] в экспериментах на обезьянах показали, что у голубого пятна есть два режима работы: фазический и тонический. Первый характеризуется умеренным уровнем активности нейронов голубого пятна и мощным ответом на целевые стимулы; на поведенческом уровне этот режим проявляется как отсутствие пропусков и очень низкий процент ложных тревог. В тоническом режиме фоновая активность голубого пятна выше, но фазический ответ на целевой стимул снижается или подавляется полностью. При этом повышается доля ложных тревог и увеличивается время реакции на целевые стимулы.

Предполагают, что фазический режим работы голубого пятна соответствует использованию, а тонический — исследованию [57]. В фазическом режиме в голубом пятне происходит выделение норадреналина только в ответ на релевантные задачи события (например, предъявление целевого стимула), что способствует обработке этих событий. При таком режиме работы голубого пятна субъект не «отвлекается» на посторонние стимулы и эффективно использует привычную опцию, т. е. реализует стратегию использования. В тоническом режиме норадреналин высвобождается постоянно и поддерживает обработку всех событий, не только релевантных — это дает возможность субъекту переключаться с базовой опции и пробовать новые возможности, т. е. применять стратегию исследования.

В пользу этой модели говорят результаты двух работ, где использовали фМРТ: в одной показали, что активность голубого пятна выше при исследовании, чем при использовании [59], в другой обнаружили повышенную активность в области ствола головного мозга [54] и предположили, что источником этой активности может быть голубое пятно [4], однако нужно учитывать, что точность локализации активности стволовых структур может быть невысокой.

Возникает вопрос: что заставляет голубое пятно переключаться из одного режима в другой? Что служит сигналом для перехода от стратегии использования к стратегии исследования? Эстон-Джонс и Коэн [6] предположили, что сигналы к переключению поступают к голубому пятну из вентральных и медиальных фронтальных структур — в частности, передней поясной коры (anterior cingulate cortex, ACC), активность которой связана с обработкой ошибок, конфликтов, негативной обратной связи и т. д. [11].

При применении субъектом стратегии использования одна из альтернатив получает статус «выгодной», другая — «невыгодной». В этом случае принятие решения, по сути, уже не включает в себя рассмотрение альтернатив: происходит лишь выбор «выгодной» альтернативы. В отличие от стратегии использования, при переходе к стратегии исследования возникает конфликт между решениями: выбирать либо заведомо «выгодную» альтернативу, либо «невыгодную» в расчете на получение информации, потенциально полезной в будущем.

В рамках дальнейшего развития модели МакКлёр с соавторами [35] предположили, что сигналы о переключении приходят в голубое пятно из передней поясной коры (ACC) и орбитофронтальной коры (OFC) — двух основных входов голубого пятна. OFC оценивает результат выбора, величину полученной награды, и в зависимости от этих параметров регулирует работу голубого пятна.

Известно, что активность орбитофронтальной коры связана с вариабельностью ответов [43]. Повреждение OFC приводит к ухудшению выполнения задач на переучивание («reversal learning task») [29], в которых требуется переключаться с усвоенного правила на новое; это также дает основания предполагать участие OFC в переходе от использования к исследованию. Передняя поясная кора активна при конфликте реакций. Авторы считают, что перед переходом к стратегии исследования конфликт между вариантами выбора, т. е. между реакциями, нарастает, и при продолжительном конфликте ACC отправляет голубому пятну сигнал о переключении на стратегию исследования.

Если ACC действительно отправляет сигналы о переходе к исследованию в голубое пятно, то не вполне ясно, как именно ее активность соотносится во времени с переключением голубого пятна из одного режима в другой. Возможно, активность этой области связана не с переключением (или не только с ним), а с поддержанием одного из режимов. Так, Бланчард и Гершман в фМРТ-исследовании в парадигме «наблюдай или делай ставку» показали, что активность передней поясной коры (а также островковой доли) выше во время режима исследования — именно во время, а не перед переключением [9].

Важная область, участвующая в регуляции баланса исследования—использования — фронтополярная кора (поле 10, FPC).

В фМРТ-исследовании с применением поведенческой методики «четырёхрукий бандит» Доу с соавтора-

ми показали, что фронтальная кора (FPC) и внутрименная борозда (IPS) более активны при исследовании [15], а стриатум и вентромедиальная префронтальная кора (vmPFC) — при использовании.

Бочин с соавторами показали, что у макак при разрушении фронтальной коры нарушаются быстрое научение с одного повтора и исследовательское поведение [10]. Авторы предполагают, что FPC не просто связана с «исследовательскими» выборами, а отвечает за первоначальную оценку выгод разных новых альтернатив. Даже если о других альтернативах ничего не известно, FPC аккумулирует историю выборов: при получении обратной связи туда «записывается», насколько успешным было решение.

Авторы считают, что FPC накапливает свидетельства в пользу перехода к стратегии исследования, а затем отправляет сигнал о переключении другим областям коры.

Мансури с соавторами в подробном обзоре, посвященном функциям фронтальной коры, тоже предполагают, что у людей она играет ключевую роль в осуществлении стратегии исследования, причем медиальная фронтальная кора отвечает за случайное исследование, а латеральная — за целенаправленное [33]; а за использование отвечает задняя часть префронтальной коры.

Лаурейро-Мартинез с соавторами [31] реплицировали эксперимент Доу на большей выборке, также используя фМРТ, и тоже обнаружили активацию медиальной префронтальной коры во время использования, а IPS и FPC — во время исследования. Но помимо этого в случае использования обнаружили активацию гиппокампа, а в случае стратегии исследования — целого ряда зон, связанных с вниманием: в теменной области — височно-теменное соединение (temporo-parietal junction, TPJ), верхняя теменная доля (superior parietal lobule, SPL); во фронтальных областях — переднее глазодвигательное поле (FEF), среднефронтальная извилина (MFG), передняя поясная кора (dACC), часть дополнительной моторной области (pre-SMA). Кроме того, авторы наблюдали, что при исследовании сильнее активируется голубое пятно, что согласуется с теорией Эстон-Джонса и Коэна [6]. Помимо этого, в режиме исследования наблюдалась активация вентральной фронтальной коры (VFC). Авторы предположили, что стратегия использования связана с большей активацией областей мозга, входящих в систему подкрепления (в том числе гиппокампа), а стратегия исследования — с активацией областей, отвечающих за когнитивный контроль (в частности, фронтальной коры — FPC) [36]).

Это предположение логично, поскольку для переключения на исследование необходимо подавить преобладающую реакцию, привычную и более выгодную, которая соответствует стратегии использования. Контроль внимания отчасти обеспечивается активностью голубого пятна (LC) [51], а активность голубого пятна, в свою очередь, регулируется входами от дофаминэргических мезокортиколимбических областей.

Еще одна зона, потенциально участвующая в балансе исследования—использования — это ростолатеральная префронтальная кора, которая сильнее активируется при переходе от стратегии использования к стратегии исследования под влиянием неопределенности [50].

Таким образом, в регуляции баланса исследования и использования задействована сеть из многих областей, основные из которых — голубое пятно, передняя поясная кора, фронтальная кора, орбитофронтальная кора, префронтальная кора.

Электрофизиологические методы изучения баланса исследования—использования

Из областей мозга, задействованных в балансе исследования—использования, наиболее проста и перспективна для изучения методами электрофизиологии передняя поясная кора. В изучении роли этой области можно опираться на данные анализа частотно-временной активности и потенциалов, связанных с событиями. Одним из подходов является изучение тета-осцилляций фронтальной средней линии: их главным источником является передняя поясная кора, и они имеют максимальную выраженность во фронтальных отведениях ЭЭГ. Тета-осцилляции фронтальной средней линии считают отражением работы механизма детекции необходимости включения (или усиления) когнитивного контроля [12]. Этот механизм может включаться в нескольких случаях: в условиях новизны или неопределенности, в условиях конфликта, после ошибок, «наказания» или «проигрыша». Все эти ситуации требуют адаптивных изменений поведения. Вариантов таких адаптивных изменений может быть несколько: можно «активировать когнитивные ресурсы», усилить когнитивный контроль (например, внимательнее выполнять задачу), оставшись на уже выбранной стратегии, а можно уйти от выбранной стратегии и попробовать новую, т. е. перейти в режим исследования.

Мощность тета-осцилляций фронтальной средней линии можно рассматривать как предиктор перехода к стратегии исследования: Чжан с соавторами показали, что мощность этого ритма увеличивается в интервале 250—500 мс после обратной связи и возрастает сильнее в реализациях, предшествующих смене выбираемого стимула [30]. Каванах с соавторами также показали, что повышение мощности фронтальных тета-осцилляций предшествует переходу к стратегии исследования [17].

Помимо тета-осцилляций фронтальной средней линии, в качестве коррелятов активности передней поясной коры можно изучать ряд потенциалов, связанных с событиями, таких как N2, ERN и FRN — генератором всех этих компонентов считается передняя поясная кора [22; 25]. Компонент N2 — это негативная волна с латентностью 200—300 мс относительно момента предъявления стимула, которая имеет локализацию на фронтальной средней линии; N2 считают отражением конфликта между репрезентациями — чем сильнее конфликт, тем больше амплитуда N2 [38; 46].

Компонент ERN (англ. error-related negativity, негативность, связанная с ошибкой) — негативная волна, возникающая после совершения ошибки, с пиком в интервале 50—100 мс и с локализацией на фронтальной средней линии [3]. Данный компонент является отражением внутренней детекции ошибки.

Компонент FRN (англ. feedback-related negativity, негативность в ответ на обратную связь, также известная как MFN, medial frontal negativity) — это негативная волна, возникающая в ответ на обратную связь с пиком около 250 мс с момента ее предъявления [37]. FRN максимально выражена в отведениях фронтальной средней линии и отражает ошибку предсказания — расхождение предполагаемого исхода (например, ожидаемого знака обратной связи) с фактическим [25].

Другая группа методов изучения баланса исследования—использования фокусируется на нейромедиаторах. В следующих разделах мы рассмотрим такие методы и результаты исследований в этом направлении.

Дофамин связан со стратегией использования

В современных теориях, описывающих механизмы научения и принятия решений, важная роль отводится дофамину, но его функции намного шире — в частности, он участвует в регуляции баланса использования—исследования.

Выделяют два основных вида активности дофаминэргических нейронов: тоническая активность — т. е. фоновая, постоянная; фазическая активность — быстрая, в ответ на те или иные события. В соответствии с этими видами активности выделяют два пула дофамина — тонический, концентрация которого меняется медленно (за минуты), и фазический, который выделяется в результате фазической активности дофаминэргических нейронов; концентрация в нем меняется быстро (меньше чем за секунду) [42].

Одной из ключевых частей механизма научения считается ошибка предсказания награды (reward prediction error) — разница между ожидаемой и полученной наградой, которая на нейрофизиологическом уровне отражается в фазическом выделении дофамина в вентральной области покрышки (VTA).

Помимо участия в научении есть свидетельства в пользу связи дофамина с избеганием риска [42], а также его участия в регуляции баланса исследования и использования. Считается, что чем выше уровень тонического дофамина, тем больше склонность к стратегии исследования, чем ниже — тем больше склонность к стратегии использования. Так, при блокаде дофаминовых рецепторов D1 и D2, т. е. при снижении чувствительности к дофамину в префронтальной коре, у крыс повышается процент «исследовательских» выборов в задаче с трехруким бандитом [17], при том что скорость обучения не меняется. Однако, судя по всему, рецепторы D1 и D2 в этом смысле работают по-разному: у крыс предпочтение риска, что грубо можно приравнять к предпочтению исследования, при блокаде D1-рецепторов снижалось, а при блокаде D2-рецепторов повышалось [41].

У мышей с повышенной внеклеточной концентрацией «тонического» дофамина наблюдается снижение гибкости поведения; кроме того, они готовы выполнять большую, чем обычные мыши, работу за то же самое вознаграждение [2]. Разницу в поведении, связанную с концентрацией внеклеточного дофамина, исследовали и на людях; правда, результаты противоречивы. Так, Франк с соавторами показали, что обладатели менее активной формы COMT (фермента, разрушающего дофамин в синаптической щели и действующего в префронтальной коре), гомозиготы Met/Met, т. е. с повышенной концентрацией дофамина в префронтальной коре, при выполнении «задачи с часами» были более склонны к исследованию по сравнению с теми, у кого активность COMT была выше (Met/Val и Val/Val) [21]. В другом исследовании на людях этот результат не воспроизвели, зато обнаружили, что введение ингибитора COMT, толкапона, приводит к повышению доли «исследовательских» выборов у гомозигот Met/Met, а у остальных генотипов не приводит [18]. То есть, видимо, и так низкая активность COMT у таких гомозигот подавляется настолько, что это проявляется на уровне поведения, а у других генотипов подавляется недостаточно сильно и на уровне поведения не проявляется.

Норадреналин: противоречивые данные о роли в балансе исследования-использования

Норадреналин играет ключевую роль в модели Эстона—Джонса, согласно которой исследование и использование обеспечиваются двумя режимами работы голубого пятна.

Под действием норадреналина увеличивается диаметр зрачка, и при постоянном уровне освещения его размер можно использовать для непрямой оценки тонической активности голубого пятна [26]: чем больше зрачок, тем выше активность. Джемма и Нивенхейс показали, что перед «исследовательскими» выборами в задаче с четырехруким бандитом диаметр зрачка у людей увеличен по сравнению с выборами, относящимися к использованию [26]. Однако введение ребоксетина, селективного ингибитора обратного захвата норадреналина, который повышает концентрацию внеклеточного норадреналина, в такой же задаче не повлияло на баланс исследования—использования [58]. А Уоррен с соавторами получили, что, в противоположность их первоначальной гипотезе, при введении атомоксетина (блокатора транспортера норадреналина, который должен повышать внеклеточную концентрацию норадреналина в коре) склонность к исследованию у людей снижалась [56], а не повышалась, как можно было бы предположить на основании модели Эстона—Джонса.

Ацетилхолин оказывает на баланс исследования-использования эффекты, сходные с дофамином

Роль этого нейромедиатора в балансе исследования—использования изучена хуже других, но некоторые данные

позволяют предположить, что он тоже вовлечен в данные процессы. Так, никотиновые ацетилхолиновые рецепторы (nAChRs) в вентральной области покрышки (VTA) могут участвовать в осуществлении стратегии исследования: в задаче с многоруким бандитом мыши, у которых работа этого рецептора была нарушена, демонстрировали большую по сравнению с диким типом склонность к рискованным выборам с высокой неопределенностью, что фактически эквивалентно склонности к исследованию.

Влияние ацетилхолина на принятие решений сходно с дофамином [20]; это может объясняться тем, что ацетилхолин воздействует на дофаминэргические нейроны VTA через никотиновые ацетилхолиновые рецепторы [40].

Заключение

Мы обсудили вопрос о том, что представляет собой неопределенность, и рассмотрели способы принятия решения в условиях неопределенности.

Одним из таких способов является стратегия исследования — поиск и проверка новых возможностей. Противоположная стратегия — стратегия использования — становится оправданной, когда неопределенность снижается.

В реальной жизни эти стратегии сменяют друг друга, адаптивное поведение предполагает переключение с одной на другую.

На переключение влияет ряд факторов — индивидуальные, социальные, факторы среды.

Баланс этих двух стратегий — исследования и использования — является предметом активного изучения в различных областях наук, и к настоящему времени накоплен массивный объем данных о нейрофизиологии процессов, лежащих в основе этого баланса. Стратегиям исследования и использования соответствуют два режима работы голубого пятна — соответственно тонический и фазический.

Стратегия исследования сопряжена с повышенным фоновым уровнем норадреналина, а стратегия использования — с пониженным, однако выбросы норадреналина происходят локально в ответ на релевантные события (например, наиболее выгодные стимулы). Переход голубого пятна из фазического режима в тонический инициируется сигналами от передней поясной коры, фронтополярной коры, орбитофронтальной коры, которые, по всей видимости, оценивают разные аспекты ситуации и «приводят разные доводы» в пользу перехода от стратегии использования к стратегии исследования. Помимо норадренэргической системы, в регуляцию баланса исследования и использования вовлечены дофаминэргическая и ацетилхолинэргическая системы. Повышенный уровень дофамина, как и ацетилхолина, приводит к повышению склонности к использованию.

В целом, несмотря на значительный массив накопленных данных, в теме «баланс стратегий исследования и использования» остается еще много вопросов: в частности, не выяснена временная динамика активности вовлеченных в регуляцию баланса областей мозга.

Литература

1. Канеман Д., Тверски А. Рациональный выбор, ценности и фреймы // Психологический журнал. 2003. Т. 24. № 4. С. 31—43.
2. A kinder, gentler dopamine... highlighting dopamine's role in behavioral flexibility / J.A. Beeler [et al.] // *Frontiers in Neuroscience*. 2014. Vol. 8. Article ID 4. 2 p. DOI:10.3389/fnins.2014.00004
3. A neural system for error detection and compensation / W.J. Gehring [et al.] // *Psychological Science*. 1993. Vol. 4. № 6. P. 385—390. DOI:10.1111/j.1467-9280.1993.tb00586.x
4. A primer on foraging and the explore/exploit trade-off for psychiatry research / M.A. Addicott [et al.] // *Neuropsychopharmacology*. 2017. Vol. 42. P. 1931—1939. DOI:10.1038/npp.2017.108
5. *Aspers P.* Forms of uncertainty reduction: decision, valuation, and contest // *Theory and Society*. 2018. Vol. 47. P. 133—149. DOI:10.1007/s11186-018-9311-0
6. *Aston-Jones G., Cohen J.D.* An integrative theory of locus coeruleus-norepinephrine function: adaptive gain and optimal performance // *Annual Review of Neuroscience*. 2005. Vol. 28. P. 403—450. DOI:10.1146/annurev.neuro.28.061604.135709
7. *Aston-Jones G., Rajkowski J., Kubiak P.* Conditioned responses of monkey locus coeruleus neurons anticipate acquisition of discriminative behavior in a vigilance task // *Neuroscience*. 1997. Vol. 80. № 3. P. 697—715. DOI:10.1016/S0306-4522(97)00060-2
8. *Barack D.L., Gold J.I.* Temporal trade-offs in psychophysics // *Current Opinion in Neurobiology*. 2016. Vol. 37. P. 121—125. DOI:10.1016/j.conb.2016.01.015
9. *Blanchard V.C., Gershman S.J.* Pure correlates of exploration and exploitation in the human brain // *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*. 2018. Vol. 18. № 1. P. 117—126. DOI:10.3758/s13415-017-0556-2
10. *Boschin E.A., Piekema C., Buckley M.J.* Essential functions of primate frontopolar cortex in cognition // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2015. Vol. 112. № 9. P. E1020—E1027. DOI:10.1073/pnas.1419649112
11. *Botvinick M.M., Cohen J.D., Carter C.S.* Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update // *Trends in Cognitive Sciences*. 2004. Vol. 8. № 12. P. 539—546. DOI:10.1016/j.tics.2004.10.003
12. *Cavanagh J.F., Frank M.J.* Frontal theta as a mechanism for cognitive control // *Trends in Cognitive Sciences*. 2014. Vol. 18. № 8. P. 414—421. DOI:10.1016/j.tics.2014.04.012
13. *Conant R.C., Ross Ashby W.* Every good regulator of a system must be a model of that system // *International Journal of Systems Science*. 1970. Vol. 1. № 2. P. 89—97. DOI:10.1080/00207727008920220

14. Cook Z., Franks D.W., Robinson E.J.H. Exploration versus exploitation in polydomous ant colonies // *Journal of Theoretical Biology*. 2013. Vol. 323. P. 49—56. DOI:10.1016/j.jtbi.2013.01.022
15. Cortical substrates for exploratory decisions in humans / N.D. Daw [et al.] // *Nature*. 2006. Vol. 441. P. 876—879. DOI:10.1038/nature04766
16. Denison S., Xu F. Infant statisticians: The origins of reasoning under uncertainty // *Perspectives on Psychological Science*. 2019. Vol. 14. № 4. P. 499—509. DOI:10.1177/1745691619847201
17. Dopamine blockade impairs the exploration-exploitation trade-off in rats / F. Cinotti [et al.] // *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. № 1. P. 1—14. DOI:10.1038/s41598-019-43245-z
18. Dopamine, locus of control, and the exploration-exploitation tradeoff / A.S. Kayser [et al.] // *Neuropsychopharmacology*. 2015. Vol. 40. № 2. P. 454—462. DOI:10.1038/npp.2014.193
19. Exploration—Exploitation strategy is dependent on early experience / K.L. Humphreys [et al.] // *Developmental Psychobiology*. 2015. Vol. 57. № 3. P. 313—321. DOI:10.1002/dev.21293
20. Fobbs W.C., Mizumori S.J.Y. Cost—Benefit Decision Circuitry: Proposed Modulatory Role for Acetylcholine // *Progress in Molecular Biology and Translational Science*. 2014. Vol. 122. P. 233—261. DOI:10.1016/B978-0-12-420170-5.00009-X
21. Frank M.J., Hutchison K. Genetic contributions to avoidance-based decisions: striatal D2 receptor polymorphisms // *Neuroscience*. 2009. Vol. 164. № 1. P. 131—140. DOI:10.1016/j.neuroscience.2009.04.048
22. Gehring W.J., Willoughby A.R. The medial frontal cortex and the rapid processing of monetary gains and losses // *Science*. 2002. Vol. 295. № 5563. P. 2279—2282. DOI:10.1126/science.1066893
23. Gold J.I., Shadlen M.N. The neural basis of decision making // *Annual review of neuroscience*. 2007. Vol. 30. P. 535—574. DOI:10.1146/annurev.neuro.29.051605.113038
24. Hills V.V. Animal foraging and the evolution of goal-directed cognition // *Cognitive Science*. 2006. Vol. 30. № 1. P. 3—41. DOI:10.1207/s15516709cog0000_50
25. Huang Y., Yu R. The feedback-related negativity reflects «more or less» prediction error in appetitive and aversive conditions // *Frontiers in Neuroscience*. 2014. Vol. 8. Article ID 108. 6 p. DOI:10.3389/fnins.2014.00108
26. Jepma M., Nieuwenhuis S. Pupil diameter predicts changes in the exploration—exploitation trade-off: Evidence for the adaptive gain theory // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2011. Vol. 23. № 7. P. 1587—1596. DOI:10.1162/jocn.2010.21548
27. Kahneman D., Tversky A. Variants of uncertainty // *Cognition*. 1982. Vol. 11. № 2. P. 143—157. DOI:10.1016/0010-0277(82)90023-3
28. Killeen P.R. Pavlov + Skinner = Premack [Электронный ресурс] // *International Journal of Comparative Psychology*. 2014. Vol. 27. № 4. P. 544—568. URL: https://www.researchgate.net/profile/Peter_Killeen2/publication/269873794_Pavlov_Skinner_Premack/links/549861d30cf2c5a7e342bdca.pdf (дата обращения: 05.06.2020).
29. Learning theory: a driving force in understanding orbitofrontal function / M.A. McDannald [et al.] // *Neurobiology of Learning and Memory*. 2014. Vol. 108. P. 22—27. DOI:10.1016/j.nlm.2013.06.003
30. Linking brain electrical signals elicited by current outcomes with future risk decision-making / D. Zhang [et al.] // *Frontiers in Behavioral Neuroscience*. 2014. Vol. 8. Article ID 34. 15 p. DOI:10.3389/fnbeh.2014.00084
31. Linson A., Parr V., Friston K.J. Active inference, stressors, and psychological trauma: A neuroethological model of (mal) adaptive explore-exploit dynamics in ecological context // *Behavioural Brain Research*. 2020. Vol. 380. P. 112—421. DOI:10.1016/j.bbr.2019.112421
32. Locus coeruleus neurons in monkey are selectively activated by attended cues in a vigilance task / G. Aston-Jones [et al.] // *Journal of Neuroscience*. 1994. Vol. 14. № 7. P. 4467—4480. DOI:10.1523/JNEUROSCI.14-07-04467.1994
33. Managing competing goals — a key role for the frontopolar cortex / F.A. Mansouri [et al.] // *Nature Reviews Neuroscience*. 2017. Vol. 18. № 11. P. 645—657. DOI:10.1038/nrn.2017.111
34. Mata R., Wilke A., Czienskowski U. Foraging across the life span: is there a reduction in exploration with aging? // *Frontiers in Neuroscience*. 2013. Vol. 7. Article ID 53. 7 p. DOI:10.3389/fnins.2013.00053
35. McClure S.M., Gilzenrat M.S., Cohen J.D. An exploration-exploitation model based on norepinephrine and dopamine activity [Электронный ресурс] // *Advances in neural information processing systems: proceedings from the conference “Neural Information Processing Systems 2005”* / Eds. Y. Weiss, B. Schölkopf, J.C. Platt. Neural Information Processing Systems Foundation, 2006. P. 867—874. URL: <https://papers.nips.cc/paper/2950-an-exploration-exploitation-model-based-on-norepinephrine-and-dopamine-activity.pdf> (дата обращения: 05.06.2020).
36. Miller E.K., Cohen J.D. An integrative theory of prefrontal cortex function // *Annual Review of Neuroscience*. 2001. Vol. 24. P. 167—202. DOI:10.1146/annurev.neuro.24.1.167
37. Miltner W.H.R., Braun C.H., Coles M.G.H. Event-related brain potentials following incorrect feedback in a time-estimation task: evidence for a “generic” neural system for error detection // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 1997. Vol. 9. № 6. P. 788—798. DOI:10.1162/jocn.1997.9.6.788
38. N200 in the Eriksen-task: Inhibitory executive process? / M. Heil [et al.] // *Journal of Psychophysiology*. 2000. Vol. 14. № 4. P. 218—225. DOI:10.1027//0269-8803.14.4.218
39. Neurons in posterior cingulate cortex signal exploratory decisions in a dynamic multioption choice task / J.M. Pearson [et al.] // *Current biology*. 2009. Vol. 19. № 18. P. 1532—1537. DOI:10.1016/j.cub.2009.07.048

40. Nicotinic receptors in the ventral tegmental area promote uncertainty-seeking / J. Naudé [et al.] // *Nature Neuroscience*. 2016. Vol. 19. № 3. P. 471—478. DOI:10.1038/nn.4223
41. *Onge J.R.S., Abhari H., Floresco S.B.* Dissociable contributions by prefrontal D1 and D2 receptors to risk-based decision making // *Journal of Neuroscience*. 2011. Vol. 31. № 23. P. 8625—8633. DOI:10.1523/JNEUROSCI.1020-11.2011
42. Overriding phasic dopamine signals redirects action selection during risk/reward decision making / C.M. Stopper [et al.] // *Neuron*. 2014. Vol. 84. № 1. P. 177—189. DOI:10.1016/j.neuron.2014.08.033
43. *Padoa-Schioppa C., Conen K.E.* Orbitofrontal cortex: a neural circuit for economic decisions // *Neuron*. 2017. Vol. 96. № 4. P. 736—754. DOI:10.1016/j.neuron.2017.09.031
44. *Parr V., Friston K.J.* Uncertainty, epistemics and active inference // *Journal of The Royal Society Interface*. 2017. Vol. 14. № 136. 10 p. DOI:10.1098/rsif.2017.0376
45. Psychological models of human and optimal performance in bandit problems / M.D. Lee [et al.] // *Cognitive Systems Research*. 2011. Vol. 12. № 2. P. 164—174. DOI:10.1016/j.cogsys.2010.07.007
46. Psychophysiological evidence of response conflict and strategic control of responses in affective priming / B.D. Bartholow [et al.] // *Journal of Experimental Social Psychology*. 2009. Vol. 45. № 4. P. 655—666. DOI:10.1016/j.jesp.2009.02.015
47. *Rakow V., Newell B.R., Zougkou K.* The role of working memory in information acquisition and decision making: Lessons from the binary prediction task // *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 2010. Vol. 63. № 7. P. 1335—1360. DOI:10.1080/17470210903357945
48. Recognizing sequences of sequences / S.J. Kiebel [et al.] // *PLoS Computational Biology*. 2009. Vol. 5. № 8. 14 p. DOI:10.1371/journal.pcbi.1000464
49. Risk-taking behavior in adolescent mice: psychobiological determinants and early epigenetic influence / G. Laviola [et al.] // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2003. Vol. 27. № 1—2. P. 19—31. DOI:10.1016/S0149-7634(03)00006-X
50. Rostrolateral prefrontal cortex and individual differences in uncertainty-driven exploration / D. Badre [et al.] // *Neuron*. 2012. Vol. 73. № 3. P. 595—607. DOI:10.1016/j.neuron.2011.12.025
51. *Sara S.J.* The locus coeruleus and noradrenergic modulation of cognition // *Nature Reviews Neuroscience*. 2009. Vol. 10. № 3. P. 211—223. DOI:10.1038/nrn2573
52. *Slovic P.* Risk-taking in children: Age and sex differences // *Child Development*. 1966. Vol. 37. № 1. P. 169—176. DOI:10.2307/1126437
53. *Smith A.P., Beckmann J.S., Zentall V.R.* Gambling-like behavior in pigeons: 'jackpot' signals promote maladaptive risky choice // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. № 1. P. 1—11. DOI:10.1038/s41598-017-06641-x
54. Smoking and the bandit: A preliminary study of smoker and nonsmoker differences in exploratory behavior measured with a multiarmed bandit task / M.A. Addicott [et al.] // *Experimental and Clinical Psychopharmacology*. 2013. Vol. 21. № 1. P. 66—73. DOI:10.1037/a0030843
55. *Steyvers M., Lee M.D., Wagenmakers E.J.* A Bayesian analysis of human decision-making on bandit problems // *Journal of Mathematical Psychology*. 2009. Vol. 53. № 3. P. 168—179. DOI:10.1016/j.jmp.2008.11.002
56. The effect of atomoxetine on random and directed exploration in humans / C.M. Warren [et al.] // *PloS One*. 2017. Vol. 12. № 4. 17 p. DOI:10.1371/journal.pone.0176034
57. The role of locus coeruleus in the regulation of cognitive performance / M. Usher [et al.] // *Science*. 1999. Vol. 283. № 5401. P. 549—554. DOI:10.1126/science.283.5401.549
58. The role of the noradrenergic system in the exploration-exploitation trade-off: a pharmacological study / M. Jepma [et al.] // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2010. Vol. 4. Article ID 170. 13 p. DOI:10.3389/fnhum.2010.00170
59. Understanding the exploration—exploitation dilemma: An fMRI study of attention control and decision-making performance / D. Laureiro-Martinez [et al.] // *Strategic Management Journal*. 2015. Vol. 36. № 3. P. 319—338. DOI:10.1002/smj.2221
60. Unpacking the exploration—exploitation tradeoff: A synthesis of human and animal literatures / K. Mehlhorn [et al.] // *Decision*. 2015. Vol. 2. № 3. P. 191—215. DOI:10.1037/dec0000033
61. *Verdolin J.L.* Meta-analysis of foraging and predation risk trade-offs in terrestrial systems // *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 2006. Vol. 60. № 4. P. 457—464. DOI:10.1007/s00265-006-0172-6
62. *Yuki S., Okanoya K.* Rats show adaptive choice in a metacognitive task with high uncertainty // *Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*. 2017. Vol. 43. № 1. P. 109—118. DOI:10.1037/xan0000130
63. *Zentall V.R.* An animal model of human gambling based on pigeon suboptimal choice [Электронный ресурс] // *Research & Reviews: Neuroscience*. 2017. Vol. 1. № 2. P. 27—37. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/f4ba/8ebce42ca058e780c9afb1322b7440bc8649.pdf> (дата обращения: 05.06.2020).
64. *Zentall V.R.* Suboptimal choice by pigeons: An analog of human gambling behavior // *Behavioural Processes*. 2014. Vol. 103. P. 156—164. DOI:10.1016/j.beproc.2013.11.004

References

1. Kaneman D., Tverski A. Ratsional'nyi vybor, tsennosti i freimy [Rational choice, values and frames]. *Psikhologicheskii zhurnal [Psychological journal]*, 2003. Vol. 24, no. 4, pp. 31—43.

2. Beeler J.A. et al. A kinder, gentler dopamine... highlighting dopamine's role in behavioral flexibility. *Frontiers in neuroscience*, 2014. Vol. 8, article ID 4, 2 p. DOI:10.3389/fnins.2014.00004
3. Gehring W.J. et al. A neural system for error detection and compensation. *Psychological science*, 1993. Vol. 4, no. 6, pp. 385—390. DOI:10.1111/j.1467-9280.1993.tb00586.x
4. Addicott M.A. et al. A primer on foraging and the explore/exploit trade-off for psychiatry research. *Neuropsychopharmacology*, 2017. Vol. 42, pp. 1931—1939. DOI:10.1038/npp.2017.108
5. Aspers P. Forms of uncertainty reduction: decision, valuation, and contest. *Theory and society*, 2018. Vol. 47, pp. 133—149. DOI:10.1007/s11186-018-9311-0
6. Aston-Jones G., Cohen J.D. An integrative theory of locus coeruleus-norepinephrine function: adaptive gain and optimal performance. *Annual Review of Neuroscience*, 2005. Vol. 28, pp. 403—450. DOI:10.1146/annurev.neuro.28.061604.135709
7. Aston-Jones G., Rajkowski J., Kubiak P. Conditioned responses of monkey locus coeruleus neurons anticipate acquisition of discriminative behavior in a vigilance task. *Neuroscience*, 1997. Vol. 80, no. 3, pp. 697—715. DOI:10.1016/S0306-4522(97)00060-2
8. Barack D.L., Gold J.I. Temporal trade-offs in psychophysics. *Current opinion in neurobiology*, 2016. Vol. 37, pp. 121—125. DOI:10.1016/j.conb.2016.01.015
9. Blanchard V.C., Gershman S.J. Pure correlates of exploration and exploitation in the human brain. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 2018. Vol. 18, no. 1, pp. 117—126. DOI:10.3758/s13415-017-0556-2
10. Boschini E.A., Piekema C., Buckley M.J. Essential functions of primate frontopolar cortex in cognition. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2015. Vol. 112, no. 9, pp. E1020—E1027. DOI:10.1073/pnas.1419649112
11. Botvinick M.M., Cohen J.D., Carter C.S. Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update. *Trends in cognitive sciences*, 2004. Vol. 8, no. 12, pp. 539—546. DOI:10.1016/j.tics.2004.10.003
12. Cavanagh J.F., Frank M.J. Frontal theta as a mechanism for cognitive control. *Trends in cognitive sciences*, 2014. Vol. 18, no. 8, pp. 414—421. DOI:10.1016/j.tics.2014.04.012
13. Conant R.C., Ross Ashby W. Every good regulator of a system must be a model of that system. *International journal of systems science*, 1970. Vol. 1, no. 2, pp. 89—97. DOI:10.1080/00207727008920220
14. Cook Z., Franks D.W., Robinson E.J.H. Exploration versus exploitation in polydomous ant colonies. *Journal of theoretical biology*, 2013. Vol. 323, pp. 49—56. DOI:10.1016/j.jtbi.2013.01.022
15. Daw N.D. et al. Cortical substrates for exploratory decisions in humans. *Nature*, 2006. Vol. 441, pp. 876—879. DOI:10.1038/nature04766
16. Denison S., Xu F. Infant statisticians: The origins of reasoning under uncertainty. *Perspectives on Psychological Science*, 2019. Vol. 14, no. 4, pp. 499—509. DOI:10.1177/1745691619847201
17. Cinotti F. et al. Dopamine blockade impairs the exploration-exploitation trade-off in rats. *Scientific reports*, 2019. Vol. 9, no. 1, pp. 1—14. DOI:10.1038/s41598-019-43245-z
18. Kayser A.S. et al. Dopamine, locus of control, and the exploration-exploitation tradeoff. *Neuropsychopharmacology*, 2015. Vol. 40, no. 2, pp. 454—462. DOI:10.1038/npp.2014.193
19. Humphreys K.L. et al. Exploration—Exploitation strategy is dependent on early experience. *Developmental Psychobiology*, 2015. Vol. 57, no. 3, pp. 313—321. DOI:10.1002/dev.21293
20. Fobbs W.C., Mizumori S.J.Y. Cost—Benefit Decision Circuitry: Proposed Modulatory Role for Acetylcholine. *Progress in molecular biology and translational science*, 2014. Vol. 122, pp. 233—261. DOI:10.1016/B978-0-12-420170-5.00009-X
21. Frank M.J., Hutchison K. Genetic contributions to avoidance-based decisions: striatal D2 receptor polymorphisms. *Neuroscience*, 2009. Vol. 164, no. 1, pp. 131—140. DOI:10.1016/j.neuroscience.2009.04.048
22. Gehring W.J., Willoughby A.R. The medial frontal cortex and the rapid processing of monetary gains and losses. *Science*, 2002. Vol. 295, no. 5563, pp. 2279—2282. DOI:10.1126/science.1066893
23. Gold J.I., Shadlen M.N. The neural basis of decision making. *Annual review of neuroscience*, 2007. Vol. 30, pp. 535—574. DOI:10.1146/annurev.neuro.29.051605.113038
24. Hills V.V. Animal foraging and the evolution of goal-directed cognition. *Cognitive science*, 2006. Vol. 30, no. 1, pp. 3—41. DOI:10.1207/s15516709cog0000_50
25. Huang Y., Yu R. The feedback-related negativity reflects “more or less” prediction error in appetitive and aversive conditions. *Frontiers in neuroscience*, 2014. Vol. 8, article ID 108, 6 p. DOI:10.3389/fnins.2014.00108
26. Jepma M., Nieuwenhuis S. Pupil diameter predicts changes in the exploration—exploitation trade-off: Evidence for the adaptive gain theory. *Journal of cognitive neuroscience*, 2011. Vol. 23, no. 7, pp. 1587—1596. DOI:10.1162/jocn.2010.21548
27. Kahneman D., Tversky A. Variants of uncertainty. *Cognition*, 1982. Vol. 11, no. 2, pp. 143—157. DOI:10.1016/0010-0277(82)90023-3
28. Killeen P.R. Pavlov + Skinner = Premack [Elektronnyi resurs]. *International Journal of Comparative Psychology*, 2014. Vol. 27, no. 4, pp. 544—568. URL: https://www.researchgate.net/profile/Peter_Killeen2/publication/269873794_Pavlov_Skinner_Premack/links/549861d30cf2c5a7e342bdca.pdf (Accessed 05.06.2020).
29. McDannald M.A. et al. Learning theory: a driving force in understanding orbitofrontal function. *Neurobiology of learning and memory*, 2014. Vol. 108, pp. 22—27. DOI:10.1016/j.nlm.2013.06.003
30. Zhang D. et al. Linking brain electrical signals elicited by current outcomes with future risk decision-making. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 2014. Vol. 8, article ID 34, 15 p. DOI:10.3389/fnbeh.2014.00084

31. Linson A., Parr V., Friston K.J. Active inference, stressors, and psychological trauma: A neuroethological model of (mal) adaptive explore-exploit dynamics in ecological context. *Behavioural Brain Research*, 2020. Vol. 380, pp. 112—421. DOI:10.1016/j.bbr.2019.112421
32. Aston-Jones G. et al. Locus coeruleus neurons in monkey are selectively activated by attended cues in a vigilance task. *Journal of Neuroscience*, 1994. Vol. 14, no. 7, pp. 4467—4480. DOI:10.1523/JNEUROSCI.14-07-04467.1994
33. Mansouri F.A. et al. Managing competing goals — a key role for the frontopolar cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, 2017. Vol. 18, no. 11, pp. 645—657. DOI:10.1038/nrn.2017.111
34. Mata R., Wilke A., Czienskowski U. Foraging across the life span: is there a reduction in exploration with aging? *Frontiers in neuroscience*, 2013. Vol. 7, article ID 34, 7 p. DOI:10.3389/fnins.2013.00053
35. McClure S.M., Gilzenrat M.S., Cohen J.D. An exploration-exploitation model based on norepinephrine and dopamine activity [Elektronnyi resurs]. In Weiss Y., Schölkopf B., Platt J.C. (eds.). *Advances in neural information processing systems: proceedings from the conference “Neural Information Processing Systems 2005”*, 2006, pp. 867—874. URL: <https://papers.nips.cc/paper/2950-an-exploration-exploitation-model-based-on-norepinephrine-and-dopamine-activity.pdf> (Accessed 05.06.2020).
36. Miller E.K., Cohen J.D. An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual review of neuroscience*, 2001. Vol. 24, pp. 167—202. DOI:10.1146/annurev.neuro.24.1.167
37. Miltner W.H.R., Braun C.H., Coles M.G.H. Event-related brain potentials following incorrect feedback in a time-estimation task: evidence for a “generic” neural system for error detection. *Journal of cognitive neuroscience*, 1997. Vol. 9, no. 6, pp. 788—798. DOI:10.1162/jocn.1997.9.6.788
38. Heil M. et al. N200 in the Eriksen-task: Inhibitory executive process? *Journal of Psychophysiology*, 2000. Vol. 14, no. 4, pp. 218—225. DOI:10.1027//0269-8803.14.4.218
39. Pearson J.M. et al. Neurons in posterior cingulate cortex signal exploratory decisions in a dynamic multioption choice task. *Current biology*, 2009. Vol. 19, no. 18, pp. 1532—1537. DOI:10.1016/j.cub.2009.07.048
40. Naudé J. et al. Nicotinic receptors in the ventral tegmental area promote uncertainty-seeking. *Nature neuroscience*, 2016. Vol. 19, no. 3, pp. 471—478. DOI:10.1038/nn.4223
41. Onge J.R.S., Abhari H., Floresco S.B. Dissociable contributions by prefrontal D1 and D2 receptors to risk-based decision making. *Journal of Neuroscience*, 2011. Vol. 31, no. 23, pp. 8625—8633. DOI:10.1523/JNEUROSCI.1020-11.2011
42. Stopper C.M. et al. Overriding phasic dopamine signals redirects action selection during risk/reward decision making. *Neuron*, 2014. Vol. 84, no. 1, pp. 177—189. DOI:10.1016/j.neuron.2014.08.033
43. Padoa-Schioppa C., Conen K.E. Orbitofrontal cortex: a neural circuit for economic decisions. *Neuron*, 2017. Vol. 96, no. 4, pp. 736—754. DOI:10.1016/j.neuron.2017.09.031
44. Parr V., Friston K.J. Uncertainty, epistemics and active inference. *Journal of The Royal Society Interface*, 2017. Vol. 14, no. 136, 10 p. DOI:10.1098/rsif.2017.0376
45. Lee M.D. et al. Psychological models of human and optimal performance in bandit problems. *Cognitive Systems Research*, 2011. Vol. 12, no. 2, pp. 164—174. DOI:10.1016/j.cogsys.2010.07.007
46. Bartholow B.D. et al. Psychophysiological evidence of response conflict and strategic control of responses in affective priming. *Journal of Experimental Social Psychology*, 2009. Vol. 45, no. 4, pp. 655—666. DOI:10.1016/j.jesp.2009.02.015
47. Rakow V., Newell B.R., Zougkou K. The role of working memory in information acquisition and decision making: Lessons from the binary prediction task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 2010. Vol. 63, no. 7, pp. 1335—1360. DOI:10.1080/17470210903357945
48. Kiebel S.J. et al. Recognizing sequences of sequences. *PLoS computational biology*, 2009. Vol. 5, no. 8, 14 p. DOI:10.1371/journal.pcbi.1000464
49. Laviola G. et al. Risk-taking behavior in adolescent mice: psychobiological determinants and early epigenetic influence. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2003. Vol. 27, no. 1—2, pp. 19—31. DOI:10.1016/S0149-7634(03)00006-X
50. Badre D. et al. Rostrolateral prefrontal cortex and individual differences in uncertainty-driven exploration. *Neuron*, 2012. Vol. 73, no. 3, pp. 595—607. DOI:10.1016/j.neuron.2011.12.025
51. Sara S.J. The locus coeruleus and noradrenergic modulation of cognition. *Nature reviews neuroscience*, 2009. Vol. 10, no. 3, pp. 211—223. DOI:10.1038/nrn2573
52. Slovic P. Risk-taking in children: Age and sex differences. *Child Development*, 1966. Vol. 37, no. 1, pp. 169—176. DOI:10.2307/1126437
53. Smith A.P., Beckmann J.S., Zentall V.R. Gambling-like behavior in pigeons: ‘jackpot’ signals promote maladaptive risky choice. *Scientific reports*, 2017. Vol. 7, no. 1, pp. 1—11. DOI:10.1038/s41598-017-06641-x
54. Addicott M.A. et al. Smoking and the bandit: A preliminary study of smoker and nonsmoker differences in exploratory behavior measured with a multiarmed bandit task. *Experimental and clinical psychopharmacology*, 2013. Vol. 21, no. 1, pp. 66—73. DOI:10.1037/a0030843
55. Steyvers M., Lee M.D., Wagenmakers E.J. A Bayesian analysis of human decision-making on bandit problems. *Journal of Mathematical Psychology*, 2009. Vol. 53, no. 3, pp. 168—179. DOI:10.1016/j.jmp.2008.11.002
56. Warren C.M. et al. The effect of atomoxetine on random and directed exploration in humans. *PloS one*, 2017. Vol. 12, no. 4, 17 p. DOI:10.1371/journal.pone.0176034

57. Usher M. et al. The role of locus coeruleus in the regulation of cognitive performance. *Science*, 1999. Vol. 283, no. 5401, pp. 549—554. DOI:10.1126/science.283.5401.549
58. Jepma M. et al. The role of the noradrenergic system in the exploration-exploitation trade-off: a pharmacological study. *Frontiers in human neuroscience*, 2010. Vol. 4, article ID 170, 13 p. DOI:10.3389/fnhum.2010.00170
59. Laureiro-Martínez D. et al. Understanding the exploration—exploitation dilemma: An fMRI study of attention control and decision-making performance. *Strategic Management Journal*, 2015. Vol. 36, no. 3, pp. 319—338. DOI:10.1002/smj.2221
60. Mehlhorn K. et al. Unpacking the exploration—exploitation tradeoff: A synthesis of human and animal literatures. *Decision*, 2015. Vol. 2, no. 3, pp. 191—215. DOI:10.1037/dec0000033
61. Verdolin J.L. Meta-analysis of foraging and predation risk trade-offs in terrestrial systems. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2006. Vol. 60, no. 4, pp. 457—464. DOI:10.1007/s00265-006-0172-6
62. Yuki S., Okanoya K. Rats show adaptive choice in a metacognitive task with high uncertainty. *Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*, 2017. Vol. 43, no. 1, pp. 109—118. DOI:10.1037/xan0000130
63. Zentall V.R. An animal model of human gambling based on pigeon suboptimal choice [Elektronnyi resurs]. *Research & Reviews: Neuroscience*, 2017. Vol. 1, no. 2, pp. 27—37. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/f4ba/8ebce42ca058e780c9afb1322b7440bc8649.pdf> (Accessed 05.06.2020).
64. Zentall V.R. Suboptimal choice by pigeons: An analog of human gambling behavior. *Behavioural processes*, 2014. Vol. 103, pp. 156—164. DOI:10.1016/j.beproc.2013.11.004

Информация об авторах

Сайфулина Ксения Эльдусовна, младший научный сотрудник, Центр нейрокогнитивных исследований (МЭГ-центр), Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2017-0811>, e-mail: kseniasayfulina@gmail.com

Козунова Галина Леонидовна, кандидат психологических наук, старший научный сотрудник, Центр нейрокогнитивных исследований (МЭГ-центр), Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1286-8654>, e-mail: chukhutova@gmail.com

Медведев Владимир Александрович, младший научный сотрудник, Центр нейрокогнитивных исследований (МЭГ-центр), Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3252-8809>, e-mail: ixdon@yandex.ru

Рытикова Анна Менашевна, младший научный сотрудник, Центр нейрокогнитивных исследований (МЭГ-центр), Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0153-9457>, e-mail: ann.zelener@mail.ru

Чернышев Борис Владимирович, кандидат биологических наук, руководитель, Центр нейрокогнитивных исследований (МЭГ-центр), Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ); доцент, кафедра высшей нервной деятельности, биологический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ имени М.В. Ломоносова); доцент, департамент психологии, факультет социальных наук, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8267-3916>, e-mail: b_chernysh@mail.ru

Information about the authors

Ksenia E. Sayfulina, Junior Researcher, Center for Neurocognitive Research (MEG Center), Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2017-0811>, e-mail: kseniasayfulina@gmail.com

Galina L. Kozunova, PhD in Psychology, Senior Researcher, Center for Neurocognitive Research (MEG Center), Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1286-8654>, e-mail: chukhutova@gmail.com

Vladimir A. Medvedev, Junior Researcher, Center for Neurocognitive Research (MEG Center), Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3252-8809>, e-mail: ixdon@yandex.ru

Anna M. Rytikova, Junior Researcher, Center for Neurocognitive Research (MEG Center), Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0153-9457>, e-mail: ann.zelener@mail.ru

Boris V. Chernyshev, PhD in Biology, Associate Professor, Head of Center for Neurocognitive Research (MEG Center), Moscow State University of Psychology & Education; Associate Professor, Department of Higher Nervous Activity, Faculty of Biology, Lomonosov Moscow State University; Associate Professor, Department of Psychology, National Research University «Higher School of Economics», Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8267-3916>, e-mail: b_chernysh@mail.ru

*Вне тематики номера
Outside of the theme rooms*

**ОБЩАЯ ПСИХОЛОГИЯ
GENERAL PSYCHOLOGY**

Перспективы использования задач зрительного поиска в современной когнитивной психологии

Горбунова Е.С.

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ),
г. Москва, Российская Федерация*

ORCID: [https:// 0000-0003-3646-2605](https://0000-0003-3646-2605), e-mail: gorbunovaes@gmail.com

В статье описываются основные результаты современных зарубежных исследований с модификациями классических задач зрительного поиска, а также предлагается классификация таких модификаций. Суть зрительного поиска состоит в поиске целевых стимулов среди дистракторов, при этом стандартная задача предполагает поиск одного целевого стимула, который, как правило, является простым объектом. Модификации стандартной задачи могут включать в себя присутствие на экране более одного целевого стимула, поиск более чем одного типа стимулов, а также варианты, сочетающие в себе обе эти модификации. Предложенные модификации стандартной задачи позволяют не только изучить новые аспекты работы зрительного внимания, но и приблизиться в рамках лабораторных исследований к задачам из реальной жизни.

Ключевые слова: зрительный поиск, зрительное внимание, гибридный поиск, поиск-собрание, пропуски при продолжении поиска, внезапные находки.

Финансирование: Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2020 году.

Для цитаты: Горбунова Е.С. Перспективы использования задач зрительного поиска в современной когнитивной психологии [Электронный ресурс] // Современная зарубежная психология. 2020. Том 9. № 2. С. 107—116. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090209>

Prospects for using visual search tasks in modern cognitive psychology

Elena S. Gorbunova

School of Psychology, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia,

ORCID: <https://0000-0003-3646-2605>, e-mail: gorbunovaes@gmail.com

The article describes the main results of modern foreign studies with modifications of classical visual search tasks, as well as proposed classification of such modifications. The essence of visual search is to find target stimuli among the distracters, and the standard task involves finding one target stimulus, which is usually a simple object. Modifications to the standard task may include the presence of more than one target on the screen, the search for more than one type of target, and options that combine both of these modifications. Proposed modifications of the standard task allow not only to study new aspects of visual attention, but also to approach real-life tasks within laboratory studies.

Keywords: visual search, visual attention, hybrid search, foraging search, subsequent search misses, accidental findings.

Funding: The article was prepared within the framework of the Basic Research Program at the National Research University Higher School of Economics (HSE).

For citation: Gorbunova E.S. Prospects for using visual search tasks in modern cognitive psychology [Elektronnyi resurs]. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya = Journal of Modern Foreign Psychology*, 2020. Vol. 9, no. 2, pp. 107—116. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090209> (InRuss.).

Зрительный поиск — одна из самых известных методик, используемых в когнитивной психологии. Классическая задача зрительного поиска представляет собой поиск одного объекта — целевого стимула среди других объектов — дистракторов. Причиной интереса к задачам зрительного поиска является, с одной стороны, их применение для исследования механизмов зрительного пространственного внимания, а с другой стороны — запросы практики [1]. С задачами зрительного поиска мы сталкиваемся каждый день: например, когда ищем ключи на полке, нужный товар в супермаркете или иконку определенной программы на рабочем столе компьютера. Помимо этого, ряд важных профессиональных задач также требует зрительного поиска, которые выполняет, например, врач-рентгенолог, ищущий на снимке сломанную кость, или сотрудник службы контроля багажа, проверяющий наличие запрещенных к перевозке предметов.

Стандартный вариант задачи зрительного поиска предполагает поиск одного целевого стимула среди дистракторов — отвлекающих стимулов, при этом целевой стимул может на экране присутствовать или отсутствовать (второй тип проб называется «пробами-ловушками» — они служат для того, чтобы проконтролировать выполнение испытуемым задачи). Испытуемый отчитывается о том, что он нашел целевой стимул, либо о том, что целевого стимула на экране в данной пробе нет. В качестве стимулов, как правило, используются простые объекты — линии, геометрические фигуры, буквы. При этом варьируется число объектов, среди которых производится поиск, и измеряется время реакции испытуемого в тех пробах, где целевой стимул присутствовал на экране.

Два основных варианта классической задачи зрительного поиска включают в себя поиск по одному признаку и поиск по сочетанию признаков. В первом случае целевой стимул отличается от дистракторов по одному базовому признаку — цвету, размеру, форме, ориентации и т. д. (например, черная линия среди белых линий). Во втором случае количество признаков, отличающих целевой стимул от дистракторов, больше одного (черная вертикальная линия среди черных горизонтальных линий и белых линий). Примеры стимулов для задач поиска по одному признаку и по

сочетанию признаков приведены ниже (рис. 1). В случае поиска по одному признаку время реакции, как правило, не зависит от количества объектов, среди которых производится поиск (так называемый «параллельный поиск» или «эффективный поиск»), в то время как для поиска по сочетанию признаков время реакции возрастает пропорционально увеличению числа дистракторов («последовательный поиск» или «неэффективный поиск»). Также стоит отметить, что в первых исследованиях зрительного поиска целевые стимулы, как правило, задавались через базовые признаки (такие как цвет, форма, ориентация), однако в дальнейшем стали использоваться также задачи поиска объектов, принадлежащих к определенной категории (например, «найти плюшевого мишку») — так называемый категориальный поиск [20]).

Стандартные задачи зрительного поиска являются крайне удобным инструментом для изучения пространственного внимания, а также допускают большое число вариантов стимулов, которые могут в них использоваться. Тем не менее, существенным ограничением таких классических задач является их не очень высокая экологическая валидность. Во первых, повседневные задачи отличаются более сложными стимулами, чем простые геометрические фигуры. Во-вторых, если в стандартной задаче зрительного поиска на экране может быть только один целевой стимул, то в реальной жизни мы можем столкнуться с ситуациями, когда таких стимулов два и больше (например, на рентгеновском снимке может присутствовать более одной аномалии). Наконец, мы не всегда ищем один конкретный стимул — например, в ситуации покупки товаров в супермаркете в памяти может удерживаться целый список продуктов. В связи с этим в последние годы можно обнаружить рост числа исследований с различными модификациями классической методики зрительного поиска: с целевыми стимулами более одного, комбинацией зрительного поиска и поиска в памяти, использованием в качестве стимулов сложных естественных объектов (например, предметов повседневного использования). Причиной является не только желание исследователей приблизиться в лабораторных исследованиях к ситуациям из реальной жизни, но и стремление

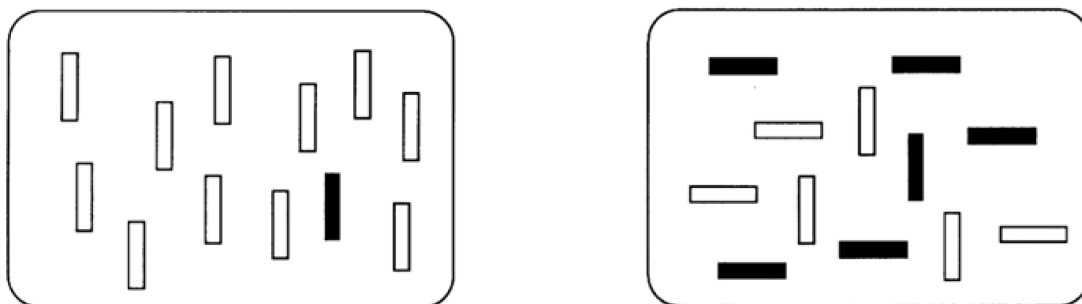


Рис. 1. Пример стимулов, используемых в задаче зрительного поиска по одному признаку (слева) и в задаче зрительного поиска по сочетанию признаков (справа) [26]

изучить новые аспекты работы системы внимания в зрительном поиске.

Целью данной статьи является классификация модификаций классической задачи зрительного поиска, а также представление основных результатов, полученных с использованием модифицированной задачи. Существующие на данный момент варианты модификации классической задачи зрительного поиска можно разделить на два больших класса, первый из которых предполагает присутствие на экране более одного целевого стимула, а второй — поиск более чем одного типа стимула. При этом второй вариант соответственно предполагает сочетание зрительного поиска и поиска в памяти. Стоит отметить, что в обоих направлениях есть тенденция к использованию изображений объектов реального мира в качестве стимулов.

Присутствие на экране двух и более целевых стимулов

Данная модификация классической задачи зрительного поиска предполагает, что на экране в каждой пробе может находиться не один, а два и более стимулов. Это связано с тем, что в реальной жизни подобная ситуация является достаточно частой: например, на рентгеновском снимке может присутствовать более одной аномалии. Помимо этого, существуют ситуации, в которых необходимо последовательно найти сразу несколько целевых стимулов — например, при сборе ягод с куста. Первый тип ситуаций описывается задачей с двумя целевыми стимулами, а второй — методикой «поиска-собрания».

В задаче с двумя целевыми стимулами испытуемому, как и в классической задаче зрительного поиска, необходимо найти целевой стимул, либо отчитаться о его отсутствии. Отличие заключается в том, что в некоторых пробах на экране может присутствовать не один, а сразу два таких целевых стимула, и в этом случае правильным ответом будет считаться нахождение обоих. Данная модификация, как правило, используется для изучения распределения ресурсов внимания, а также для исследования стратегий зрительного поиска.

Достаточно известным феноменом, наблюдающимся в условиях поиска двух целевых стимулов, является эффект «пропусков при продолжении поиска» (ПППП) [5]. Суть ПППП состоит в том, что при необходимости обнаружить два целевых стимула испытуемый успешно справляется с задачей относительно первого из них, однако пропускает второй. Изначально данный эффект был обнаружен в исследованиях на врачах рентгенологах — они зачастую успешно находили первую аномалию на рентгеновском снимке, но пропускали вторую, если аномалий было больше одной. В дальнейшем данный эффект был воспроизведен в лабораторном когнитивном эксперименте на стандартном для зрительного поиска материале — поиске букв «Т» среди букв «L» [15]; при этом ответ

давался компьютерной мышью, а в качестве основного изучаемого показателя выступала точность ответов, что несколько нетипично для задач зрительного поиска (где преимущественно анализируется время реакции). Стандартом для исследования ПППП в лабораторных условиях является сравнение точности нахождения второго целевого стимула в пробах с двумя стимулами при условии, что первый стимул найден верно, по сравнению с точностью нахождения единственного целевого стимула. При этом, как правило, первый целевой стимул является хорошо заметным (более контрастным), а второй — плохо заметным (менее контрастным), а в подлежащих анализу пробах с единственным целевым стимулом используются плохо заметные стимулы. Пример стимульного материала приведен на рис. 2.



Рис. 2. Пример стимулов, используемых в исследованиях ПППП. Целевые стимулы в данном случае — буквы «Т». В этой пробе один из целевых стимулов хорошо заметный (более контрастный), а второй — плохо заметный (менее контрастный). Задача испытуемого состоит в том, чтобы найти все целевые стимулы, последовательно нажав на них мышью. В качестве основного измеряемого показателя выступает процент верных ответов, при этом в условии с одним хорошо заметным и одним плохо заметным целевым стимулом анализируются только те пробы, где хорошо заметный целевой стимул был найден первым [5]

Поскольку данный эффект был первоначально открыт в области рентгенологии, одно из первых объяснений ПППП связывало данный эффект с тем, что после нахождения первой аномалии на рентгеновском снимке врачи оказывались «удовлетворены» полученным результатом, поэтому прекращали поиск дальнейших возможных нарушений. В связи с этим данный эффект изначально носил название «насыщения поиска» (satisfaction of search). Данное объяснение согласуется с рядом эмпирических результатов — например, точность выполнения задачи на зрительный поиск двух целевых стимулов связана с тем, сколько времени испытуемый продолжает поиск после нахождения пер-

вого целевого стимула [4]. Тем не менее, результаты других исследований не вполне согласуются с идеей «насыщения» — например, время сканирования дисплея не зависит от наличия на нем одного или нескольких стимулов [23], а испытуемые склонны продолжать поиск даже после нахождения первого целевого стимула [15]. По этой причине данный эффект был переименован в «пропуски при продолжении поиска» (subsequent search misses), и для его объяснения были выдвинуты новые теории.

Согласно теории перцептивной установки, при обработке первого целевого стимула возникает некоторое «перцептивное смещение»: система переработки информации настраивается на поиск стимулов, сходных с первым найденным, и игнорирование тех, которые от него отличаются. Например, врач рентгенолог после обнаружения сломанной кости скорее обнаружит другую сломанную кость, в то время как опухоль может пропустить [23]. Так, увеличение перцептивного сходства целевых стимулов за счет числа общих признаков приводило к повышению вероятности успешного обнаружения второго целевого стимула [16]. Помимо этого, вероятность обнаружения второго целевого стимула увеличивается не только в случае перцептивного сходства, но и в том случае, если стимулы принадлежат к одной категории. В исследовании Бигса и коллег в качестве стимульного материала использовалась игра «Сканер в аэропорту» [14]. Задача испытуемых состояла в том, чтобы найти на изображениях багажа запрещенные предметы. Два целевых стимула могли обладать перцептивным сходством (одинаковый цвет) или категориальным (одинаковая функция). Согласно полученным результатам, категориальное сходство целевых стимулов значимо влияет на возникновение изучаемого эффекта, в то время как роль перцептивного сходства оказывается не столь значимой при условии контроля категориального. Однако значительным ограничением данного исследования является то, что категориальное сходство в данном случае было неразрывно связано с перцептивным (предметы, обладающие одной функцией, похожи перцептивно).

Несмотря на то, что теория перцептивной установки хорошо объясняет значительное число результатов исследований ПППП, она обладает некоторым ограничением в том плане, что конкретные механизмы работы перцептивной установки на данный момент не описаны. Предположительно, они могут включать в себя либо создание репрезентации целевого стимула в рабочей памяти и регуляцию процесса поиска «сверху вниз» посредством гайденса, либо восходящие процессы перцептивного прайминга.

Еще одна теория, в рамках которой делается попытка объяснения ПППП — теория истощения ресурсов [8]. Согласно данной теории, пропуск второго целевого стимула связан с истощением ресурсов рабочей памяти и/или ресурсов внимания, которые используются во время обработки первого целевого стимула. Кейн и Митрофф обнаружили, что обратная связь при

обнаружении первого целевого стимула может повысить точность обнаружения второго [8]. В их экспериментах первый стимул исчезал после нахождения второго, либо становился хорошо заметным. В этом случае ресурсы, необходимые для обработки первого целевого стимула (например, удержание его в памяти как уже найденного) были существенно меньшими. В другом эксперименте пропуски второго целевого стимула были существенно редуцированы в случае разделения процесса поиска нескольких целевых стимулов на несколько отдельных процессов поиска одного целевого стимула [2]. В пользу идеи истощения ресурсов свидетельствует усиление влияния фактора «визуального шума» на успешность обнаружения второго целевого стимула после нахождения первого [6], а также результаты исследований индивидуальных различий, в которых было выявлено, что пропуски второго целевого стимула связаны с ухудшением концентрации внимания и бдительности [3].

В то же время в наших недавних экспериментах не было обнаружено влияния дополнительной задачи на рабочую память в ходе обнаружения второго целевого стимула [22]. При этом успешность решения задачи на рабочую память снижалась при наличии в зрительном поиске двух целевых стимулов по сравнению с одним. Возможное объяснение заключается в том, что репрезентации целевых стимулов загружаются в систему рабочей памяти, что препятствует воспроизведению ранее закодированных объектов. Данный результат наталкивает на возможное гибридное объяснение ПППП со стороны перцептивной установки и истощения ресурсов: репрезентация первого найденного целевого стимула загружается в систему рабочей памяти, тем самым одновременно способствует истощению ресурсов и направляет поиск в сторону перцептивно сходных стимулов.

Причинами расхождений в результатах, полученных в разных исследованиях, могут быть различия в методиках, используемых при изучении ПППП, а также различия в методах измерения [7]. Например, в некоторых исследованиях ПППП в качестве целевых стимулов используются один хорошо заметный и один плохо заметный целевой стимулы [15], тогда как в других предъявляются стимулы одинаковой яркости [16]. Еще одна потенциальная проблема — это идентичность дисплеев для проб с одним стимулом и двумя: дисплеи должны отличаться только присутствием дополнительного стимула, но не расположением дистракторов, ориентацией стимулов и т. д. В большинстве исследований стимулы и их расположение на дисплее генерируются случайным образом. При этом возникает потенциальная побочная переменная — стратегии поиска, которые используют испытуемые. В пробах с двумя стимулами испытуемые, вероятно, сначала найдут более простой для обнаружения стимул и только после этого приступят к поиску второго. Легкость стимула для нахождения при этом может определяться сразу несколькими факторами, например, локальным

контрастом, краудингом со стороны дистракторов, ориентацией стимулов, расположением на дисплее. Таким образом, второй целевой стимул на дисплее с двумя стимулами всегда получается более сложным для нахождения по сравнению с единственным целевым стимулом. В результате при сравнении точности ответов для единичного целевого стимула и второго целевого стимула, найденного после успешного обнаружения первого целевого стимула, данные получаются несколько искаженными.

В недавнем исследовании Адамо и коллег [17] была сделана попытка контроля этой побочной переменной. Расположение и тип дистракторов были уравнены для всех проб с одним хорошо заметным, плохо заметным и двумя стимулами. В пробах с одним хорошо заметным стимулом на месте плохо заметного стимула предъявлялся дистрактор, аналогичная манипуляция была сделана в пробах с одним плохо заметным стимулом на месте хорошо заметного стимула. Также присутствовало условие, где все целевые стимулы и дистракторы были черного цвета. Было проведено два типа анализа: для всех проб в среднем и с учетом совпадения дисплеев (пробы с одним плохо заметным стимулом сравнивались с аналогичными пробами с двумя целевыми стимулами). Эффект ПППП был получен в обоих условиях, однако его амплитуда в условии анализа совпадающих дисплеев была меньшей по сравнению с полученной при анализе всех проб. Таким образом, хотя величина эффекта ПППП, вероятно, оказывается несколько завышенной в предыдущих исследованиях, сам эффект возникает именно после нахождения первого целевого стимула, а не связан с общей сложностью нахождения второго.

Перспективным способом исследования ПППП может быть сравнение данного эффекта и других сходных феноменов. Эффект «мигания внимания» [21] представляет собой снижение точности обнаружения/опознания второго целевого стимула после успешного обнаружения/опознания первого целевого стимула во

временном диапазоне около 200—500 мс. При этом для исследования «мигания внимания», как правило, используется методика быстрого последовательного предъявления зрительных стимулов, когда различные объекты сменяют друг друга с высокой скоростью в одном и том же месте зрительного поля. Несмотря на явное различие в парадигмах, и ПППП, и «мигание внимания» предполагают выполнение задач с двумя стимулами, представляют собой ошибки обнаружения второго целевого стимула, а также, вероятно, связаны с истощением ресурсов. В исследовании Адамо и коллег [5] «пропуски при продолжении поиска» изучались с применением методики регистрации движений глаз. Анализировался в первую очередь временной диапазон между нахождением первого целевого стимула и фиксацией на втором целевом стимуле, в котором с наибольшей вероятностью второй целевой стимул был пропущен. Было обнаружено, что снижение точности обнаружения второго целевого стимула в парадигме ПППП сопоставимо по времени с пропуском второго целевого стимула в парадигме «мигания внимания», что заставляет предположить наличие некоторых общих механизмов данных феноменов.

Другой вариант экологически валидной модификации классической задачи зрительного поиска посредством использования нескольких целевых стимулов на экране — это «поиск-сбор» (foraging-search). В данном случае задача испытуемого состоит в том, чтобы искать несколько экземпляров стимулов определенного типа, последовательно «собирая» их. Аналогичный тип поведения реализуется в реальной жизни, например, при сборе ягод с куста. Измеряемыми параметрами в данном случае являются порядок «сбора» стимулов и время, которые испытуемые проводят на дисплее, прежде чем перейти к следующей пробе. Варьироваться при этом могут частота встречаемости того или иного экземпляра, количество стимулов на экране, а также «ценность» того или иного типа стимула. Пример стимульного материала приведен на рис. 3.

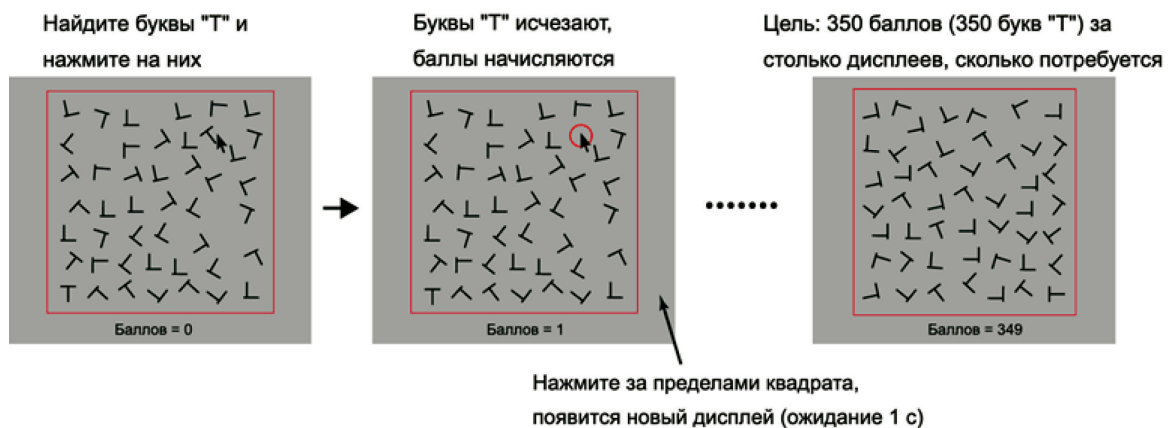


Рис. 3. Пример стимулов, используемых в исследованиях «поиска-сбор». Задача испытуемого заключается в том, чтобы последовательно нажать на буквы «Т», при этом за каждую из найденных букв начисляются баллы, а задачей является набрать определенное количество баллов. Анализу подлежит стратегия испытуемого, в частности, порядок «сбора» стимулов и время, которое испытуемый проводит на каждом экране [25]

Так, было обнаружено, что при варьировании частоты встречаемости разных экземпляров при их одинаковой «ценности» — денежного вознаграждения, которое получали испытуемые при нахождении каждого экземпляра — есть тенденция к предпочтению наиболее частотных экземпляров, в то время как при варьировании «ценности» стимулов при одинаковой частоте встречаемости испытуемые выбирают экземпляры с наибольшей суммой вознаграждения [29]. Также, если количество целевых стимулов на каждом последующем дисплее постепенно уменьшается, испытуемые начинают проводить на дисплее больше времени, прежде чем перейти к следующему [25].

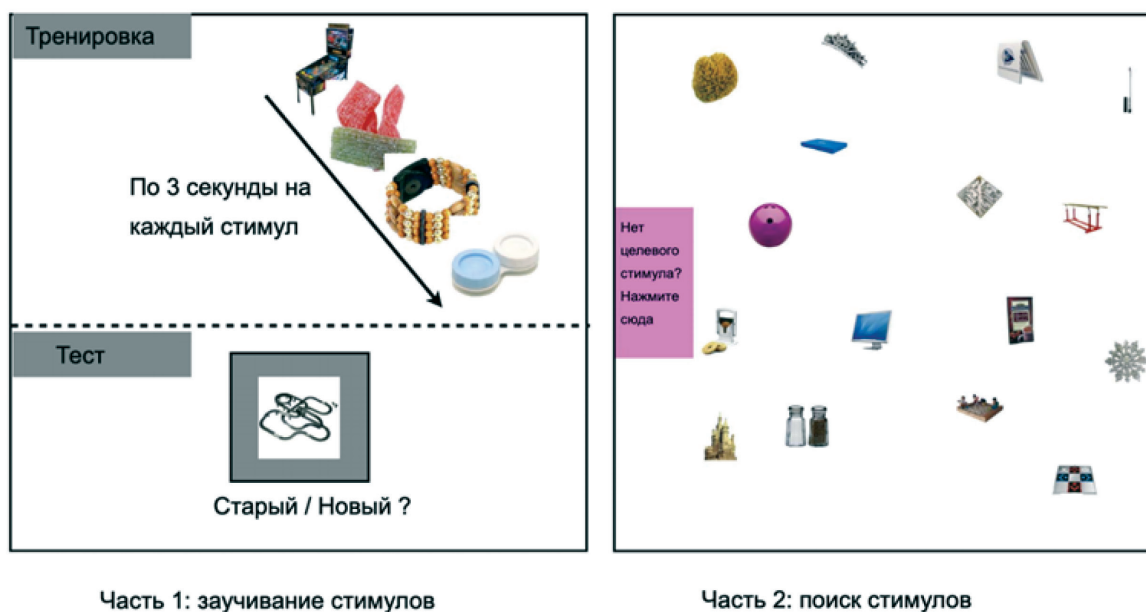
Поиск двух и более типов стимулов

В рамках этой модификации классической задачи зрительного поиска предполагается, что испытуемый ищет не один конкретный стимул или тип стимула, а удерживает в памяти несколько объектов, которые могут присутствовать на экране. Одна из задач такого типа получила название «гибридного поиска», поскольку указанная методика сочетает в себе элементы зрительного поиска и поиска в памяти [26]. Стандартная процедура эксперимента на гибридный поиск предполагает следующее: сначала испытуемому предъявляются объекты для запоминания (чаще всего это изображения предметов повседневного использования), а затем он осуществляет зрительный поиск этих объектов. При этом традиционная экспериментальная манипуляция в исследованиях гибридного поиска включает в себя варьирование числа объектов,

удерживаемых в памяти и числа объектов, среди которых производится зрительный поиск. Большим достоинством парадигмы гибридного поиска является высокая экологическая валидность — данный тип задач репрезентирует достаточно часто встречающиеся задачи из реальной жизни (например, поиск продуктов в супермаркете по списку). Пример стимульного материала приведен ниже (рис. 4).

Стандартный результат экспериментов на гибридный поиск состоит в том, что время реакции возрастает как линейная функция при увеличении количества объектов, среди которых производится зрительный поиск, и как логарифмическая функция в зависимости от количества объектов, удерживаемых в памяти [26]. Предполагается, что испытуемый последовательно сканирует предъявляемые ему объекты и сравнивает каждый из них со списком объектов в памяти. В качестве альтернативного объяснения можно было бы предположить разбиение предъявляемых объектов для запоминания на несколько групп с последующим сравнением стимулов в зрительном поле с объектами внутри каждой из этих групп. Тем не менее, даже при предъявлении объектов последовательно (в парадигме быстрого последовательного предъявления зрительных стимулов), функция времени реакции для поиска в памяти остается логарифмической [13], а согласно данным айтрекинга, время фиксации на каждом из дистракторов возрастает пропорционально увеличению числа объектов для удержания в памяти [12]. Таким образом, процесс осуществления гибридного поиска можно описать как «один зрительный поиск, несколько поисков в памяти».

В качестве «памяти» в гибридном поиске, вероятно, участвует система активированной долговременной



Часть 1: заучивание стимулов

Часть 2: поиск стимулов

Рис. 4. Пример стимулов, используемых в исследованиях гибридного поиска. Эксперимент состоит из двух этапов. Сначала испытуемый запоминает те стимулы, которые ему необходимо будет искать, а затем ищет эти стимулы на дисплее. Варьируется количество объектов для заучивания и количество объектов на экране, а анализу подлежит время реакции испытуемого в разных пробах [11]

памяти [9] — своего рода аспект рабочей памяти, который имеет непосредственную связь с долговременной памятью, находится вне осознания и имеет объем больше, чем «магические» 4 ± 2 элемента. В экспериментах Дрю и коллег было показано, что стандартные задачи на зрительную рабочую память не влияют на эффективность гибридного поиска [11]. При этом наличие задачи гибридного поиска приводило к уменьшению измеряемого объема зрительной рабочей памяти на постоянную величину, независимо от количества стимулов для удержания в памяти или поиска. Эти данные в целом согласуются с идеей того, что зрительная рабочая память выделяет фиксированную емкость для передачи зрительных репрезентаций в долговременную память для сравнения их с объектами, удерживаемыми в памяти.

Важным направлением исследований гибридного поиска является изучение роли специфичности категории объектов для поиска, к примеру того, будет ли поиск конкретного целевого стимула (например, «плюшевый медведь») отличаться от поиска стимула, определенного через категорию (например, «игрушка»). Согласно результатам экспериментов Каннигхэм и Вольфа, поиск объектов из одной категории является менее эффективным по сравнению с поиском конкретных объектов: увеличение времени ответа при увеличении количества категорий для запоминания оказывается большим по сравнению с увеличением времени ответа при увеличении количества конкретных объектов для запоминания [10]. При этом когда испытуемым необходимо запоминать объекты из одной категории и осуществлять их поиск среди других стимулов из той же категории и стимулов из других суперординатных категорий, для объектов последнего типа не наблюдается взаимодействия факторов количества стимулов на экране и количества объектов в памяти. Это говорит о том, что объекты из других суперординатных категорий не отбираются для дальнейшего поиска в активированной долговременной памяти, а просто отклоняются на уровне отбора стимулов для зрительного поиска.

Различные варианты гибридного поиска могут быть использованы для изучения принципиально новых явлений. Например, важным с точки зрения практики является недавно открытый феномен «внезапных находок». Этот термин, исходно используемый в рентгенологии, означает нахождение стимула, который исходно не был задан в качестве целевого, однако является крайне важным. Примером такой «внезапной находки» может служить нахождение сломанного ребра на рентгене, когда пациент исходно был направлен на диагностику в связи с подозрением на пневмонию. При этом пропуск такого «не вполне целевого» стимула следует отличать от других похожих ошибок — в частности, «пропусков при продолжении поиска» и «слепоты по невниманию». Во-первых, ПППП относятся к актуально целевым стимулам, в то время как «внезапная находка» скорее предполагает «потенци-

альные» стимулы. Во-вторых, ПППП означают пропуск второго целевого стимула после успешного нахождения первого, в то время как «внезапная находка» может быть единственным целевым стимулом на дисплее. «Слепота по невниманию», в свою очередь, предполагает невозможность заметить ясно различимый объект в тот момент, когда внимание вовлечено в процесс выполнения другой задачи [19]. То есть, по определению, данный феномен относится к объектам, которые являются не потенциально целевыми, а неожиданными — в отличие от «внезапных находок».

Наиболее подходящим вариантом гибридного поиска для изучения «внезапных находок» является сочетание поиска специфических объектов и объектов из определенной категории, что было реализовано в экспериментах Дж. Вольфа и коллег [27]. Испытуемые искали специфические объекты, объекты из определенной категории либо оба типа стимулов, при этом варьировало соотношение разных типов объектов. Было обнаружено, что в условии поиска двух типов стимулов объекты из определенной категории пропускаются чаще, чем конкретные объекты, что иллюстрирует проблему пропуска «внезапных находок». Изменение соотношения конкретных объектов и объектов из определенной категории особенно сильно сказывается на пропуске объектов из определенной категории: при соотношении конкретных объектов и объектов из определенной категории 80/20 стимулы второго типа пропускаются в 7 раз чаще, чем стимулы первого типа. При этом данный эффект не связан с «пропусками при продолжении поиска»: при наличии на экране сразу двух типов стимулов — конкретного объекта и объекта из определенной категории — вероятность пропуска объекта из определенной категории сопоставима с условием единичного целевого стимула.

В недавних исследованиях Дж. Вольфа и коллег была предложена новая парадигма — «гибридный поиск-собираение», сочетающая в себе соответственно элементы гибридного поиска и «поиска-собираения» [18]. Данная задача предполагает поиск различных экземпляров нескольких видов целей. Примером из реальной жизни может служить задача собрать все игрушки и книги в комнате. Особый интерес представляет стратегия, которой подчинена последовательность нахождения целевых стимулов. Было обнаружено, что нахождение первого стимула оказывается сравнительно медленным по сравнению с последующими, что говорит об отсутствии строгого гайденса в отношении первых найденных стимулов. При этом последующий «сбор» стимулов подчинен определенным правилам: в первую очередь испытуемый ищет стимулы того же типа, что и первый найденный. Это объясняется перцептивной установкой: во время совершения моторного акта — нажатия на первый стимул — внимание направляется на стимулы с теми же признаками, что и тот, который был отобран первым. Было также обнаружено, что выбор одного элемента на дисплее повышает вероятность того, что следующий элемент будет того же типа.

Этот паттерн присутствует в случае, если целевые стимулы заданы через базовые признаки (например, цвет или форму), но не когда стимулы определены по их идентичности (например, если стимулы — это определенные буквы). Кроме того, переключение между целевыми типами во время поиска является затратным по времени, и время реакции увеличивается для проб с изменением типа стимула по сравнению с пробами, где тип стимула остается прежним [28].

Таким образом, можно заметить, что в последние годы в когнитивной психологии растет количество исследований с модификациями классических задач зрительного поиска. Модификации могут включать в себя присутствие на экране более одного целевого стимула (задача с двумя целевыми стимулами — стандартная методика для изучения ПППП, «поиск-собирание»), поиск более чем одного типа стимулов (гибридный поиск в различных его вариантах, включая сочетание поиска специфических объектов и объектов из определенной категории, используемое для изучения «внезапных находок»), а также варианты, сочетающие в себе обе эти модификации («гибридный поиск-собирание»). Различные модификации классических задач зрительного поиска позволяют, с одной стороны, приблизиться к задачам из повседневной жизни, а с другой — исследовать новые аспекты работы зрительного внимания, например, взаимодействие внимания и систем памяти, ошибки внимания в зрительном поиске, поиск множества стимулов.

Выводы

1. Классические задачи зрительного поиска являются перспективным инструментом для изучения зрительного внимания, однако в последние годы появляется все больше исследований, которые используют модифицированные задачи. Причина заключается в стремлении к повышению экологической валидности исследований, а также к изучению новых аспектов работы зрительного внимания.

2. Можно выделить три варианта таких модификаций. В первом из них на экране может присутствовать более одного целевого стимула. Второй вариант предполагает, что испытуемый ищет не один конкретный стимул или тип стимула, а удерживает в памяти несколько объектов, которые могут присутствовать на экране. Наконец, третий вариант модификации сочетает в себе оба изменения относительно классической задачи.

3. Модификация с присутствием на экране более одного целевого стимула используется, в первую очередь, для изучения стратегий зрительного поиска. Модификация с поиском нескольких типов стимулов позволяет изучать роль систем памяти в зрительном поиске. Все варианты модификации являются перспективными как в плане изучения новых аспектов работы зрительного внимания, так и в контексте повышения экологической валидности когнитивных исследований.

Литература

Литература

1. Фаликман М.В. Общая психология. Внимание: учебник для вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 480 с.
2. A little bit of history repeating: Splitting up multiple-target visual searches decreases second-target miss errors / M.S. Cain [et al.] // *Journal of Experimental Psychology: Applied*. 2014. Vol. 20. № 2. P. 112—125. DOI:10.1037/xap0000014
3. Adamo S.H., Cain M.S., Mitroff S.R. An individual differences approach to multiple-target visual search errors: How search errors relate to different characteristics of attention // *Vision Research*. 2017. Vol. 141. P. 258—265. DOI:10.1016/j.visres.2016.10.010
4. Adamo S.H., Cain M.S., Mitroff S.R. Satisfaction at last: Evidence for the «satisfaction» hypothesis for multiple-target search errors // *Visual Cognition*. 2015. Vol. 23. № 7. P. 821—825. DOI:10.1080/13506285.2015.1093248
5. Adamo S.H., Cain M.S., Mitroff S.R. Self-Induced Attentional Blink: A Cause of Errors in Multiple-Target Search // *Psychological Science*. 2013. Vol. 24. № 12. P. 2569—2574. DOI:10.1177/0956797613497970
6. Adamo S.H., Cain M.S., Mitroff S.R. Targets need their own personal space: effects of clutter on multiple-target search accuracy // *Perception*. 2015. Vol. 44. № 10. P. 1203—1214. DOI:10.1177/0301006615594921
7. Biggs A.T. Getting satisfied with «satisfaction of search»: How to measure errors during multiple-target visual search // *Attention, Perception & Psychophysics*. 2017. Vol. 79. P. 1352—1365. DOI:10.3758/s13414-017-1300-2
8. Cain M.S., Mitroff S.R. Memory for found targets interferes with subsequent performance in multiple-target visual search // *The Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 2013. Vol. 39. № 5. P. 1398—1408. DOI:10.1037/a0030726
9. Cowan N. *Attention and Memory: An integrated framework*. New York: Oxford U press, 1995. 323 p.
10. Cunningham C.A., Wolfe J.M. The role of object categories in hybrid visual and memory search // *Journal of Experimental Psychology: General*. 2014. Vol. 143. № 4. P. 1585—1599. DOI:10.1037/a0036313
11. Drew T., Boettcher S., Wolfe J.M. One visual search, many memory searches: An eye-tracking investigation of hybrid search // *Journal of Vision*. 2017. Vol. 17. № 11, 5. 10 p. DOI:10.1167/17.11.5
12. Drew T., Boettcher S.E., Wolfe J.M. Searching while loaded: Visual working memory does not interfere with hybrid search efficiency but hybrid search uses working memory capacity // *Psychonomic Bulletin & Review*. 2016. Vol. 23. P. 201—212. DOI:10.3758/s13423-015-0874-8

13. Drew T., Wolfe J.M. Hybrid search in the temporal domain: Evidence for rapid, serial logarithmic search through memory // *Attention, Perception & Psychophysics*. 2015. Vol. 76. № 2. P. 296—303. DOI:10.3758/s13414-013-0606-y
14. Examining perceptual and conceptual set biases in multiple-target visual search / A.T. Biggs [et al.] // *Attention, Perception & Psychophysics*. 2015. Vol. 77. № 3. P. 844—855. DOI:10.3758/s13414-014-0822-0
15. Fleck M.S., Samei E., Mitroff S.R. Generalized “Satisfaction of Search”: Adverse Influences on Dual-Target Search Accuracy // *Journal of Experimental Psychology: Applied*. 2010. Vol. 16. № 1. P. 60—71. DOI:10.1037/a0018629
16. Gorbunova E. Perceptual similarity in visual search for multiple targets // *Acta Psychologica*. 2017. Vol. 173. P. 46—54. DOI:10.1016/j.actpsy.2016.11.010
17. How to correctly put the “subsequent” in subsequent search miss errors / S.H. Adamo [et al.] // *Attention, Perception & Psychophysics*. 2019. Vol. 81. P. 2648—2657. DOI:10.3758/s13414-019-01802-8
18. Hybrid foraging search: Searching for multiple instances of multiple types of target / J.M. Wolfe [et al.] // *Vision Research*. 2016. Vol. 119. P. 50—59. DOI:10.1016/j.visres.2015.12.006
19. Mack A., Rock I. *Inattentive Blindness*. Cambridge, USA: MIT Press, 1998. 258 p.
20. Maxfield J., Zelinsky G. Searching Through the Hierarchy: How Level of Target Categorization Affects Visual Search // *Visual Cognition*. 2012. Vol. 20. № 10. P. 1153—1163. DOI:10.1080/13506285.2012.735718
21. Raymond J.E., Shapiro K.L., Arnell K.M. Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink? // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1992. Vol. 18. № 3. P. 849—860. DOI:10.1037/0096-1523.18.3.849
22. The Role of Working Memory in Dual-Target Visual Search / E.S. Gorbunova [et al.] // *Frontiers in Psychology*. 2019. Vol. 10. Article ID 1673. 15 p. DOI:10.3389/fpsyg.2019.01673
23. Time course of satisfaction of search / K.S. Berbaum [et al.] // *Investigative Radiology*. 1991. Vol. 26. № 7. P. 640—648. DOI:10.1097/00004424-199107000-00003
24. Vecera S.P. Toward a Biased Competition Account of Object-Based Segregation and Attention // *Brain and Mind*. 2000. Vol. 1. P. 353—384. DOI:10.1023/A:1011565623996
25. Winter is coming: How humans forage in a temporally structured environment / D. Fougne [et al.] // *Journal of Vision*. 2015. Vol. 15. № 11, 1. 11 p. DOI:10.1167/15.11.1
26. Wolfe J.M. Saved by a log: How do humans perform hybrid visual and memory search? // *Psychological Science*. 2012. Vol. 23. № 7. P. 698—703. DOI:10.1177/0956797612443968
27. Wolfe J.M., Alaoui-Soce A., Schill H.M. How did I miss that? Developing mixed hybrid visual search as a “model system” for incidental finding errors in radiology // *Cognitive Research: Principles and Implications*. 2017. Vol. 2. № 35. 10 p. DOI:10.1186/s41235-017-0072-5
28. Wolfe J.M., Cain M.S., Aizenman A.M. Guidance and selection history in hybrid foraging visual search // *Attention, Perception & Psychophysics*. 2019. Vol. 81. P. 637—653. DOI:10.3758/s13414-018-01649-5
29. Wolfe J.M., Cain M.S., Alaoui-Soce A. Hybrid value foraging: How the value of targets shapes human foraging behavior // *Attention, Perception & Psychophysics*. 2018. Vol. 80. P. 609—621. DOI:10.3758/s13414-017-1471-x

References

1. Falikman M.V. *Obschchaya psikhologiya. Vnimanie: Uchebnik dlya VUZov = [General psychology. Attention. Textbook for high schools]*. Moscow: Akademiya, 2006. 480 p. (In Russ.).
2. Cain M.S. et al. A little bit of history repeating: Splitting up multiple-target visual searches decreases second-target miss errors. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 2014. Vol. 20, no. 2, pp. 112—125. DOI:10.1037/xap0000014
3. Adamo S.H., Cain M.S., Mitroff S.R. An individual differences approach to multiple-target visual search errors: How search errors relate to different characteristics of attention. *Vision Research*, 2017. Vol. 141, pp. 258—265. DOI:10.1016/j.visres.2016.10.010
4. Adamo S.H., Cain M.S., Mitroff S.R. Satisfaction at last: Evidence for the “satisfaction” hypothesis for multiple-target search errors. *Visual Cognition*, 2015. Vol. 23, no. 7, pp. 821—825. DOI:10.1080/13506285.2015.1093248
5. Adamo S.H., Cain M.S., Mitroff S.R. Self-Induced Attentional Blink: A Cause of Errors in Multiple-Target Search. *Psychological Science*, 2013. Vol. 24, no. 12, pp. 2569—2574. DOI:10.1177/0956797613497970
6. Adamo S.H., Cain M.S., Mitroff S.R. Targets need their own personal space: effects of clutter on multiple-target search accuracy. *Perception*, 2015. Vol. 44, no. 10, pp. 1203—1214. DOI:10.1177/0301006615594921
7. Biggs A.T. Getting satisfied with “satisfaction of search”: How to measure errors during multiple-target visual search. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 2017. Vol. 79, pp. 1352—1365. DOI:10.3758/s13414-017-1300-2
8. Cain M.S., Mitroff S.R. Memory for found targets interferes with subsequent performance in multiple-target visual search. *The Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2013. Vol. 39, no. 5, pp. 1398—1408. DOI:10.1037/a0030726
9. Cowan N. *Attention and Memory: An integrated framework*. New York: Oxford U press, 1995. 323 p.
10. Cunningham C.A., Wolfe J.M. The role of object categories in hybrid visual and memory search. *Journal of Experimental Psychology: General*, 2014. Vol. 143, no. 4, pp. 1585—1599. DOI:10.1037/a0036313

11. Drew T., Boettcher S., Wolfe J.M. One visual search, many memory searches: An eye-tracking investigation of hybrid search. *Journal of vision*, 2017. Vol. 17, no. 11, 10 p. DOI:10.1167/17.11.5
12. Drew T., Boettcher S.E., Wolfe J.M. Searching while loaded: Visual working memory does not interfere with hybrid search efficiency but hybrid search uses working memory capacity. *Psychonomic bulletin & review*, 2016. Vol. 23, no. 1, pp. 201—212. DOI:10.3758/s13423-015-0874-8
13. Drew T., Wolfe J.M. Hybrid search in the temporal domain: Evidence for rapid, serial logarithmic search through memory. *Attention, perception & psychophysics*, 2015. Vol. 76, no.2, pp. 296—303. DOI:10.3758/s13414-013-0606-y
14. Biggs A.T. et al. Examining perceptual and conceptual set biases in multiple-target visual search. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 2015. Vol. 77, no. 3, pp. 844—855. DOI:10.3758/s13414-014-0822-0
15. Fleck M.S., Samei E., Mitroff S.R. Generalized “Satisfaction of Search”: Adverse Influences on Dual-Target Search Accuracy. *Journal of Experimental Psychology. Applied*, 2010. Vol. 16, no. 1, pp. 60—71. DOI:10.1037/a0018629
16. Gorbunova E. Perceptual similarity in visual search for multiple targets. *Acta Psychologica*, 2017. Vol. 173, pp. 46—54. DOI:10.1016/j.actpsy.2016.11.010
17. Adamo S.H. et al. How to correctly put the “subsequent” in subsequent search miss errors. *Attention, Perception & Psychophysics*, 2019. Vol. 81, pp. 2648—2657. DOI:10.3758/s13414-019-01802-8
18. Wolfe J.M. et al. Hybrid foraging search: Searching for multiple instances of multiple types of target. *Vision Research*, 2016. Vol. 119, pp. 50—59. DOI:10.1016/j.visres.2015.12.006
19. Mack A., Rock I. Inattention Blindness. Cambridge, USA: MIT Press, 1998. 258 p.
20. Maxfield J., Zelinsky G. Searching Through the Hierarchy: How Level of Target Categorization Affects Visual Search. *Visual cognition*, 2012. Vol. 20, no. 10, pp. 1153—1163. DOI:10.1080/13506285.2012.735718
21. Raymond J.E., Shapiro K.L., Arnell K.M. Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1992. Vol. 18, no.3, pp. 849—860. DOI:10.1037/0096-1523.18.3.849
22. Gorbunova E.S. et al. The Role of Working Memory in Dual-Target Visual Search. *Frontiers in psychology*, 2019. Vol. 10, article ID 1673, 15 p. DOI:10.3389/fpsyg.2019.01673
23. Berbaum K.S. et al. Time course of satisfaction of search. *Investigative Radiology*, 1991. Vol. 26, no. 7, pp. 640—648. DOI:10.1097/00004424-199107000-00003
24. Vecera S.P. Toward a Biased Competition Account of Object-Based Segregation and Attention. *Brain and Mind*, 2000. Vol. 1, pp. 353—384. DOI:10.1023/A:1011565623996
25. Fougner D. et al. Winter is coming: How humans forage in a temporally structured environment. *Journal of vision*, 2015. Vol. 15, no. 11, 11 p. DOI:10.1167/15.11.1
26. Wolfe J.M. Saved by a log: How do humans perform hybrid visual and memory search? *Psychological Science*, 2012. Vol. 23, no. 7, pp. 698—703. DOI:10.1177/0956797612443968
27. Wolfe J.M., Alaoui-Soce A., Schill H.M. How did I miss that? Developing mixed hybrid visual search as a «model system» for incidental finding errors in radiology. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 2017. Vol. 2, no. 35, 10 p. DOI:10.1186/s41235-017-0072-5
28. Wolfe J.M., Cain M.S., Aizenman A.M. Guidance and selection history in hybrid foraging visual search. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 2019. Vol. 81, pp. 637—653. DOI:10.3758/s13414-018-01649-5
29. Wolfe J.M., Cain M.S., Alaoui-Soce A. Hybrid value foraging: How the value of targets shapes human foraging behavior. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 2018. Vol. 80, pp. 609—621. DOI:10.3758/s13414-017-1471-x

Информация об авторах

Горбунова Елена Сергеевна, кандидат психологических наук, заведующая лабораторией когнитивной психологии пользователя цифровых интерфейсов, доцент департамента психологии, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3646-2605>, e-mail: gorbunovaes@gmail.com

Information about the authors

Elena S. Gorbunova, PhD in Psychology, Laboratory Head, Laboratory Head, Laboratory for Cognitive Psychology of Digital Interface Users, Assistant Professor, School of Psychology, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia, ORCID: <https://0000-0003-3646-2605>, e-mail: gorbunovaes@gmail.com

Получена 01.04.2020

Принята в печать 08.05.2020

Received 01.04.2020

Accepted 08.05.2020

СОЦИАЛЬНАЯ ПСИХОЛОГИЯ SOCIAL PSYCHOLOGY

Понятие «интенсивного родительства» в зарубежной литературе

Акинкина Я.М.

*Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ);
Центр поддержки материнства,
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1027-6978>, e-mail: yana.akinkina@mail.ru*

В статье приводится описание подходов к пониманию интенсивного родительства в зарубежной и отечественной литературе в контексте описания психологических черт матерей, придерживающихся модели интенсивного родительства. Сам термин не является сугубо научным, но по причине популярности данного направления родительства он нуждается в детальном рассмотрении, описании, исследовании и обосновании. Многие современные исследователи заинтересованы вопросом описания и детального рассмотрения идеологии такой распространенной модели родительского поведения, как интенсивное родительство, и в статье приведены наиболее важные взгляды на понятие интенсивного родительства и трудности, сопряженные с данной моделью. В статье также описаны психологические черты матерей, придерживающихся данной модели материнства.

Ключевые слова: современное родительство, интенсивное родительство, интенсивное материнство.

Для цитаты: Акинкина Я.М. Понятие «интенсивного родительства» в зарубежной литературе [Электронный ресурс] // Современная зарубежная психология. 2020. Том 9. № 2. С. 117—122. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090210>

The concept of «intensive parenthood» in foreign literature

Yana M. Akinkina

*Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1027-6978>, e-mail: yana.akinkina@mail.ru*

The article provides a scientific review of the understanding of intensive parenthood in foreign and national literature in the context of describing the psychological traits of mothers adhering to the model of intensive parenthood. The term itself is not purely scientific, but because of the popularity of this perspective of parenthood, it needs detailed consideration, description, research and justification. Many modern researchers are interested in describing and examining in more details the ideology of such a common pattern of parental behavior as intensive parenthood, and that's why in this article you can find different views on the term and list of difficulties concerned with the model itself. The article also describes the psychological traits of mothers who adhere to this model of motherhood.

Keywords: modern parenthood, intensive parenthood, intensive motherhood.

For citation: Akinkina Y.M. The concept of «intensive parenthood» in foreign literature [Elektronnyi resurs]. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya = Journal of Modern Foreign Psychology*, 2020. Vol. 9, no. 2, pp. 117—122. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090210> (InRuss.).

Введение

Впервые название модели родительского поведения «intensiveparenthood» встречается в книге социоло-

га Шэрон Хейз «Культурные противоречия материнства»: в источнике говорится о том, что ответственность за развитие, здоровье и благополучие ребенка первоначально лежит в первую очередь на матери, вне

зависимости от вклада отца в воспитание. Интенсивное родительство, или интенсивное материнство (Intensive mothering) обладает следующим посылом: все силы и ресурсы мамы должны быть вложены в развитие ее ребенка как в главный жизненный проект [14]. Отметим, что под ресурсами в данном случае автор подразумевает материальные, финансовые, эмоциональные и другие [14]. Также некоторые авторы отмечают, что мать ребенка может поступиться заботой о себе, своим здоровьем, эмоциональным состоянием, работой и досугом, в иерархии ценностей при этом на первом месте должно оставаться развитие ребенка [8].

Обзор понятия интенсивного родительства

Многие современные исследователи занимаются описанием и детальным рассмотрением идеологии такой распространенной модели родительского поведения, как интенсивное родительство. Например, в рамках исследований Игнасио Гименес-Надаль и Альмудена Севилья изучается влияние материнских действий, направленных на воспитание ребенка, на самочувствие самих матерей, а также прослеживается связь оценки самочувствия матери с уровнем ее образования. Авторы выяснили, что родители с более высоким уровнем образования обладают более низкими показателями ощущения счастья и удовлетворенности жизнью и браком, чем родители с более низким уровнем образования [13]. Также у матерей в модели интенсивного родительства был диагностирован высокий уровень утомляемости. По мнению Н. Хеннум, менее образованные матери реже используют модель интенсивного родительства и реже обращаются к специалистам различного профиля за профессиональной помощью, по сравнению с родителями с более высоким уровнем образования [15]. В работах Миллера [19] отмечается, что время досуга, проводимое более образованными матерями совместно с детьми, в последние годы увеличилось по сравнению с прошедшими десятилетиями. При этом более образованные женщины все чаще испытывают чувство вины по поводу недостаточного внимания к своим детям, хотя в реальности они посвящают практически все свое время ребенку [10].

По словам Шэрон Хейз, вся сложность предъявляемых обществом требований к родительству ощущается именно матерями, которые одновременно и работают, и занимаются воспитанием ребенка/детей [14]. В данном случае происходит следующее: роль женщины в качестве заботливой, принимающей, эмпатичной и жертвенной матери совершенно не совпадает на практике с преобладающей ролью на работе, где матерям приходится быть жесткой, конкурентоспособной и амбициозной. Проблема состоит в том, что работающие матери не успевают переключаться с одной роли на другую [17].

В настоящее время критики модели интенсивного родительства ставят вопрос о том, есть ли смысл и необходимость в максимальных вкладах всех своих ресурсов современными матерями в развитие своего ребенка.

Исследователи Западного Университета Сидней [22] относят ориентацию на знания специалистов о воспитании и развитии ребенка к важнейшим характеристикам матерей в модели интенсивного родительства. Ключевым моментом в анализе феномена зависимости матерей от мнения специалистов является следующее: родителям приходится овладевать достаточно сложно структурированными навыками на основе знаний и исследований, данные которых им преподносят эксперты и специалисты различного профиля. [20] Такими специалистами часто выступают детские психологи, перинатальные психологи, логопеды, дефектологи, нейропсихологи, консультанты по лактации, консультанты по детскому сну и другие. Таким образом, перед родителями стоит дополнительная задача: освоить знания, напрямую не связанные с их ролью и деятельностью. При этом у родителей есть возможность принимать взвешенные решения на основе научной и достоверной информации. В данном случае установку внутренней позиции родителя в модели интенсивного родительства обозначают как «научное родительство» (scientific parenting) [1].

В литературе все чаще встречается понятие «His Majesty The Baby» («Его Величество Ребенок»), что характеризует детоцентрическую позицию многих семей в настоящее время, в том числе семей, практикующих интенсивное родительство [7]. Также стоит отметить тот факт, что отцы стали все чаще придерживаться той же родительской позиции, что и матери в модели интенсивного родительства [23; 24].

Характеристика интенсивного родительства

Матери, использующие модель интенсивного родительства, предпочитают мягкие методы воспитания, сопряженные с большими финансовыми и эмоциональными затратами; при этом они склонны к эмоциональному выгоранию, в ходе которого все чаще прибегают к негативным реакциям на детей [12]. В исследованиях Робинсон у респонденток (матери США), следующих модели интенсивного материнства, были диагностированы тревожно-депрессивные расстройства и неврозы, кроме того, респондентки упоминали о кошмарных сновидениях [21].

Зависимость от экспертного мнения, сопровождающая матерей в модели интенсивного родительства, может также быть вызвана отсутствием четких правил и предписаний в обществе относительно воспитания детей в целом: родителям необходимо из множества различных источников информации (часто при отсутствии личного опыта взаимодействия с ребенком до появления собственного) выбрать наиболее адекватные, соответствующие их взглядам. Таким образом, как отмечает в своей статье «Современное родительство как предмет исследования» К.Н. Поливанова, «... теоретическое знание проникает в социальную сферу» [4].

Часто родителям приходится использовать сопровождение специалистов даже еще до рождения ребенка — например, при планировании пополнения в семье, работе с проблемой бесплодия, в ситуациях ЭКО, во время беременности и подготовки к родам [5].

При этом матерям с более высоким уровнем образования гораздо легче ориентироваться в сфере научной информации, равно как и опираться на мнение специалистов, так как уровень доверия к экспертному мнению у них выше, чем у матерей с более низким уровнем образования. Такой феномен связан с попыткой возратить чувство безопасности в сфере материнства, где на матери лежит огромная ответственность за развитие ребенка [6; 25].

Но даже опора на мнения экспертов и специалистов в различных областях детского здоровья и развития не гарантирует матери полного избавления от стресса. Например, в работах Дален, Фаулер и Шмид описан тот факт, что матери, следующие модели интенсивного родительства, испытывают огромное давление со стороны социума. [9] Психологическое напряжение, с которым матери сталкиваются каждый день, авторы связывают с недостатком сна и конфронтацией между ориентацией на ребенка в самой модели интенсивного родительства и стремлением к самореализации, что в целом является столкновением конкурирующих потребностей личности родителя [3].

Психологические характеристики матерей в модели интенсивного родительства

1. *Утомляемость*: по результатам исследований Дален, Фаулер и Шмид [9], у матерей, следующих модели интенсивного родительства, выявляются высокие показатели усталости и стресса, что ведет к эмоциональному выгоранию.

2. *Тревожность*: по мнению Дэвис [10], в модели интенсивного родительства, как матери, так и отцы, более склонны к тревожным расстройствам, причем спектр тем, о которых родители склонны тревожиться, крайне широк — от грудного вскармливания и детского сна до образования ребенка и его карьеры в будущем. Также стоит отметить, что Робинсон также указывает на склонность матерей к тревожно-депрессивным расстройствам и неврозам [21].

3. *Детоцентрированность*: многие авторы указывают и на то, что родители, относящие себя к интенсивному родительству, склонны ставить ребенка и его интересы во главе иерархии своих ценностей и соответственно распределять свои ресурсы (финансовые, временные, эмоциональные) именно таким образом, чтобы основная их часть тратилась на ребенка [7; 16].

4. *Низкая самооценка и склонность к самокритике*: современные матери склонны стремиться к реализации себя абсолютно во всех сферах (карьера, семья, брак, ведение домашнего быта, саморазвитие) [17], что, очевидно, подразумевает высокие требования к себе. Поскольку матерям в реальности не удается реализовать себя во всех

сферах, они часто испытывают недовольство собой, что входит в конфликт с понятием «good enough mother» Д.В. Винникотта [2], которое подразумевает нормальность «неидеальности» матери, по определению, и ее право на ошибки. Исходя из вышесказанного, Фэйрклот [11] ставит вопрос о том, насколько влияют сложные отношения современных матерей с их собственными родителями на их уровень принятия себя в роли матери.

5. *Зависимость от экспертного мнения*: спектр тем, в которых родители часто советуются со специалистами, довольно широк. Многие проблемы связаны с физиологией и телом ребенка: вскармливание; прикорм; дальнейшее питание; гигиена; высаживание; приучение к горшку; привычки, часто считающиеся вредными; заболелания; закаливание и др.. Далее у родителей нередко появляются вопросы о нормах и отклонениях от нормы в плане психического и физического здоровья ребенка. Также немаловажным считается налаживание взаимоотношений между членами семьи, анализ возможностей выстраивания границ и поиск адекватных способов наказания детей, решение вопросов, связанных со сном ребенка. Родители также крайне трепетно подходят к выбору детского сада, школы, секций и кружков. Леупп ставит вопрос о том, насколько современным матерям и отцам требуется обучение быть родителем [18].

6. *Высокий уровень образования*: поскольку матерям в модели интенсивного родительства часто приходится анализировать различные источники информации и консультироваться со специалистами, им бывает необходимо получать новые знания и совершенствовать себя в образовательной сфере. [25] В исследованиях Гименез-Надаль и Севилья отмечается, что матери, придерживающиеся линии интенсивного родительства, обладают высоким уровнем образования [13].

Выводы

Интенсивное родительство — относительно новый термин, введенный социологом Ш. Хейз. Под интенсивным родительством понимается такая модель родительского поведения, при которой все ресурсы матери вкладываются в развитие ребенка.

Описание и анализ особенностей и характеристик матерей в контексте данной модели родительского поведения безусловно является актуальной задачей современных исследователей. Интерес к феномену интенсивного родительства подтверждается различными вопросами, поднимаемыми в работах многих авторов.

Благодаря анализу имеющихся исследований можно выявить ряд характеристик, присущих матерям, придерживающимся модели интенсивного родительства, таких как утомляемость, тревожность, детоцентрированность, низкая самооценка и склонность к самокритике, зависимость от мнения детских специалистов и высокий уровень образования. Это позволяет выявить терапевтические мишени в работе с родителями и направления психологической коррекции.

Литература

1. *Абдулина С.А.* Особенности внутренней позиции родителя у детей подросткового возраста [Электронный ресурс] // Современные исследования социальных проблем. 2016. № 7(63). С. 78—95. DOI:10.12731/2218-7405-2016-7-78-95. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/osobennosti-vnutrenney-pozitsii-roditelya-u-detey-podrostkovogo-vozrasta> (дата обращения: 22.04.2020).
2. *Инглиш К., Ратсон Д.* Как перестать зависеть от чужого мнения и обрести уверенность в себе. М.: Альпина Паблишер, 2014. С. 44—49.
3. *Ланцбург М.Е.* Роль психологической подготовки и поддержки в реализации родительских функций [Электронный ресурс] // Психологическая наука и образование. 2011. Т. 16. № 1. С. 15—26. URL: <https://psyjournals.ru/psyedu/2011/n1/39818.shtml> (дата обращения: 22.04.2020).
4. *Поливанова К.Н.* Современное родительство как предмет исследования // Психологическая наука и образование psyedu.ru. 2015. Т. 7. № 3. С. 1—11. DOI:10.17759/psyedu.2015070301
5. *Соловьева Е.В.* О материнском отношении к детям раннего возраста, зачатым посредством экстракорпорального оплодотворения [Электронный ресурс] // Психологическая наука и образование psyedu.ru. 2014. Т. 6. № 4. С. 147—156. URL: http://psyjournals.ru/psyedu_ru/2014/n4/73567.shtml (дата обращения: 22.04.2020).
6. *Филиппова Г.Г.* Материнство: сравнительно-психологический подход [Электронный ресурс] // Психологический журнал. 1998. № 5. С. 81—88. URL: <http://childpsy.ru/lib/articles/id/9573.php> (дата обращения: 22.04.2020).
7. *Эззо Г., Бакнам Р.* Мудрость в воспитании новорожденного. Новосибирск: Посох, 2011. С. 58.
8. *Aksoy A.B., Ulutas I.* Child Centered Attitudes of Mothers And Maternal Self-Perception [Электронный ресурс] // Conference paper. Conference: International Academic Conference on Social Sciences and Humanities, (Prague, November 2014). Prague, 2014. 7 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/303006228_Child_Centered_Attitudes_of_Mothers_and_Maternal_Self-Perception (дата обращения: 22.04.2020).
9. *Dahlen D., Fowler C., Schmied V.* 1 in 3 new moms struggle to get their baby to sleep, but some women have a tougher time [Электронный ресурс] // The Conversation, 2019. September 24. URL: <https://theconversation.com/1-in-3-new-moms-struggle-to-get-their-baby-to-sleep-but-some-women-have-a-tougher-time-102269> (дата обращения: 22.04.2020).
10. *Davis D., Stein M.T.* Intensive Parenting: Surviving the Emotional Journey through the NICU. Ottawa: Fulcrum Publishing, 2016. P. 240—247.
11. *Faircloth Ch.* Intensive Parenting and the Expansion of Parenting // Parenting Culture Studies / E. Lee [et al.]. London: Palgrave Macmillan UK, 2014. P. 25—50. DOI:10.1057/9781137304612
12. *Furedi F.* The toxic legacy of parent shaming — and the damage it does to children [Электронный ресурс] // The Conversation, 2018. September 12. URL: <https://theconversation.com/the-toxic-legacy-of-parent-shaming-and-the-damage-it-does-to-children-102382> (дата обращения: 22.04.2020).
13. *Gimenez-Nadal I., Sevilla A.* Intensive Mothering and Well-Being: The Role of Education and Child Care Activity [Электронный ресурс] // IZA. 2016. Discussion Paper № 10023. P. 13—18. URL: <http://ftp.iza.org/dp10023.pdf> (дата обращения: 22.04.2020).
14. *Hays S.* The Cultural Contradictions of Motherhood. Yale: University Press, Yale, 1996. P. 21—23.
15. *Hennum N.* Developing Child-Centered Social Policies: When Professionalism Takes Over // Social Sciences. 2014. Vol. 3. № 3. P. 441—459. DOI:10.3390/socsci3030441
16. Intensive Mothering: The Cultural Contradictions of Modern Motherhood / Ed. L.R. Ennis. Toronto: Demeter Press, 2014. P. 104—119.
17. Intensive Parenting: Does it Have the Desired Impact on Child Outcomes? / H.H. Schiffrin [et al.] // Journal of Child and Family Studies. 2015. Vol. 24. № 8. P. 2322—2331. DOI:10.1007/s10826-014-0035-0
18. *Leupp K.* Even Supermoms Get the Blues: Employment, Gender Attitudes, and Depression // Society and mental health. 2019. Vol. 9. № 3. P. 316—333. DOI:10.1177/2156869318785406
19. *Miller C.C.* The Relentlessness of Modern Parenting [Электронный ресурс] // The New York Times. 2018. December 25. URL: <https://www.nytimes.com/2018/12/25/upshot/the-relentlessness-of-modern-parenting.html> (дата обращения: 22.04.2020).
20. *Pinsker J.* 'Intensive' Parenting Is Now the Norm in America [Электронный ресурс] // The Atlantic. 2019. January 16. URL: <https://www.theatlantic.com/family/archive/2019/01/intensive-helicopter-parenting-inequality/580528/> (дата обращения: 22.04.2020).
21. *Robinson M.* Experiencing nightmare scenarios before discharge boosts confidence of parents of premature babies [Электронный ресурс] // University at Buffalo, 2017. URL: <http://www.buffalo.edu/research/research-services/click-implementation/announcements.host.html/content/shared/university/news/news-center-releases/2017/04/039.detail.html> (дата обращения: 22.04.2020).
22. *Sardiga A.* Need for residential parenting services grows with birth interventions, finds largest-ever study [Электронный ресурс] // Medical Xpress. 2019. September 24. URL: <https://medicalxpress.com/news/2019-09-residential-parenting-birth-interventions-largest-ever.html> (дата обращения: 22.04.2020).

23. Shirani F. 'I'm bringing back a dead art': continuity and change in the lives of young fathers // *Families, Relationships and Societies*. 2015. Vol. 4. № 2. P. 253—266. DOI:10.1332/204674315X14230598040336
24. Soum V. Parents of premature babies want more information [Электронный ресурс] // *Medical Xpress*. 2019. September 10. URL: <https://medicalxpress.com/news/2019-09-parents-premature-babies.html> (дата обращения: 22.04.2020).
25. Widding U. Parenting ideal and (un-)troubled parent positions // *Pedagogy, Culture & Society*. 2015. Vol. 23. № 1. P. 45—64. DOI:10.1080/14681366.2014.919955

References

1. Abdullina S.A. Osobennosti vnutrennei pozitsii roditelya u detei podrozkovogo vozrasta = [Peculiarities of internal parent position in teenage children] [Elektronnyi resurs]. *Sovremennye issledovaniya sotsial'nykh problem = [Modern research of social problems]*, 2016. Vol. 7, no. 7(63), pp. 78—95. DOI: 10.12731/2218-7405-2016-7-78-95. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/osobennosti-vnutrenney-pozitsii-roditelya-u-detey-podrozkovogo-vozrasta> (Accessed 22.04.2020). (In Russ.).
2. English K., Rapson D. Kak perestat' zaviset' ot chuzhogo mneniya i obresti uverenost' v sebe = [How to cease to depend on the opinions of others and gain confidence]. Moscow: Al'pina Publisher, 2014, pp. 44—49. (In Russ.).
3. Lantsburg M.E. Rol' psikhologicheskoi podgotovki i podderzhki v realizatsii roditel'skikh funktsii = [The Role of Psychological Training and Support in the Implementation of Parenting Functions] [Elektronnyi resurs]. *Psikhologicheskaya nauka i obrazovanie = Psychological science and education*, 2011. Vol. 16. no. 1, pp. 15—26. URL: <https://psyjournals.ru/psyedu/2011/n1/39818.shtml> (Accessed 22.04.2020). (In Russ.).
4. Polivanova K.N. Sovremennoe roditel'stvo kak predmet issledovaniya = [Parenting and Parenthoodas Research Domains]. *Psikhologicheskaya nauka i obrazovanie psyedu.ru = Psychological Science and Education psyedu.ru*, 2015. Vol. 7, no. 3, pp. 1—11. DOI:10.17759/psyedu.2015070301 (In Russ.).
5. Solovyeva E.V. O materinskom otnoshenii k detyam rannego vozrasta, zachatym posredstvom ekstrakorporal'nogo oplodotvoreniya = [On Maternal Attitude toward Young Children Conceived through in Vitro Fertilization] [Elektronnyi resurs]. *Psikhologicheskaya nauka i obrazovanie PSYEDU.ru = Psychological Science and Education psyedu.ru*, 2014. Vol. 6, no. 4, pp. 147—156. URL: http://psyjournals.ru/psyedu_ru/2014/n4/73567.shtml (Accessed 22.04.2020). (In Russ., abstr. in Engl.). (In Russ.).
6. Filippova G.G. Materinstvo: sravnitel'no-psikhologicheskii podkhod = [Motherhood: a comparative psychological approach] [Elektronnyi resurs]. *Psikhologicheskii zhurnal = Psychological journal*, 1998, no. 5, pp. 81—88. URL: <http://childpsy.ru/lib/articles/id/9573.php> (Accessed 22.04.2020). (In Russ.).
7. Ezzo G., Baknam R. Mudrost' v vospitanii novorozhdenного [Wisdom in the education of a newborn]. Novosibirsk: Posokh, 2011. 58 p. (In Russ.).
8. Aksoy A.B., Ulutas I. Child Centered Attitudes of Mothers And Maternal Self-Perception [Elektronnyi resurs]. *Conference paper. Conference: International Academic Conference on Social Sciences and Humanities, (Prague, November 2014)*. Prague, 2014. 7 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/303006228_Child_Centered_Attitudes_of_Mothers_and_Maternal_Self-Perception (Accessed 22.04.2020).
9. Dahlen D., Fowler C., Schmied V. 1 in 3 new moms struggle to get their baby to sleep, but some women have a tougher time [Elektronnyi resurs]. *The Conversation*, 2019, september 24. URL: <https://theconversation.com/1-in-3-new-mums-struggle-to-get-their-baby-to-sleep-but-some-women-have-a-tougher-time-102269> (Accessed 22.04.2020).
10. Davis D., Stein M.T. Intensive Parenting: Surviving the Emotional Journey through the NICU. Ottawa: Fulcrum Publishing, 2016, pp. 240—247.
11. Faircloth Ch. Intensive Parenting and the Expansion of Parenting. In Lee E. [et al.] (eds.), *Parenting Culture Studies*. London: Palgrave Macmillan UK, 2014, pp. 25—50. DOI:10.1057/9781137304612
12. Furedi F. The toxic legacy of parent shaming — and the damage it does to children [Elektronnyi resurs]. *The Conversation*, 2018, september 12. URL: <https://theconversation.com/the-toxic-legacy-of-parent-shaming-and-the-damage-it-does-to-children-102382> (Accessed 22.04.2020).
13. Gimenez-Nadal I., Sevilla A. Intensive Mothering and Well-Being: The Role of Education and Child Care Activity [Elektronnyi resurs]. *IJA*, 2016, Discussion Paper no. 10023, pp. 13—18. URL: <http://ftp.iza.org/dp10023.pdf> (Accessed 22.04.2020).
14. Hays S. *The Cultural Contradictions of Motherhood*. Yale: University Press, Yale, 1996, pp. 21—23.
15. Hennem N. Developing Child-Centered Social Policies: When Professionalism Takes Over. *Social Sciences*, 2014. Vol. 3, no. 3, pp. 441—459. DOI:10.3390/socsci3030441
16. Intensive Mothering: The Cultural Contradictions of Modern Motherhood. Ennis L.R. (ed.). Toronto: Demeter Press, 2014, pp. 104—119.
17. Schiffrin H.H. et al. Intensive Parenting: Does it Have the Desired Impact on Child Outcomes? *Journal of Child and Family Studies*, 2015. Vol. 24, no. 8, pp. 2322—2331. DOI:10.1007/s10826-014-0035-0
18. Leupp K. Even Supermoms Get the Blues: Employment, Gender Attitudes, and Depression. *Society and mental health*, 2019. Vol. 9, no. 3, pp. 316—333. DOI:10.1177/2156869318785406

19. Miller C.C. The Relentlessness of Modern Parenting [Elektronnyi resurs]. *The New York Times*, 2018, december 25. URL: <https://www.nytimes.com/2018/12/25/upshot/the-relentlessness-of-modern-parenting.html> (Accessed 22.04.2020).
20. Pinsky J. 'Intensive' Parenting Is Now the Norm in America [Elektronnyi resurs]. *The Atlantic*, 2019, january 16. URL: <https://www.theatlantic.com/family/archive/2019/01/intensive-helicopter-parenting-inequality/580528/> (Accessed 22.04.2020).
21. Robinson M. Experiencing nightmare scenarios before discharge boosts confidence of parents of premature babies [Elektronnyi resurs]. *University at Buffalo*, 2017. URL: <http://www.buffalo.edu/research/research-services/click-implementation/announcements.host.html/content/shared/university/news/news-center-releases/2017/04/039.detail.html> (Accessed 22.04.2020).
22. Sardiga A. Need for residential parenting services grows with birth interventions, finds largest-ever study [Elektronnyi resurs]. *Medical Xpress*, 2019, september 24. URL: <https://medicalxpress.com/news/2019-09-residential-parenting-birth-interventions-largest-ever.html> (датаобращения: 22.04.2020).
23. Shirani F. 'I'm bringing back a dead art': continuity and change in the lives of young fathers. *Families, Relationships and Societies*, 2015. Vol. 4, no. 2, pp. 253—266. DOI:10.1332/204674315X14230598040336
24. Soum V. Parents of premature babies want more information [Elektronnyi resurs]. *Medical Xpress*, 2019, september 10. URL: <https://medicalxpress.com/news/2019-09-parents-premature-babies.html> (Accessed 22.04.2020).
25. Widding U. Parenting ideal and (un-)troubled parent positions. *Pedagogy, Culture & Society*, 2015. Vol. 23, no. 1, pp. 45—64. DOI:10.1080/14681366.2014.919955

Информация об авторах

Акинкина Яна Михайловна, аспирант, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ); психолог-консультант, Центр поддержки материнства, г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1027-6978>, e-mail: yana.akinkina@mail.ru

Information about the authors

Akinkina Yana M., Postgraduate, Moscow State University of Psychology & Education; Psychologist, Centre of Support of Maternity, Moscow, Russia, ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1027-6978>, e-mail: yana.akinkina@mail.ru

Получена 26.07.2019

Received 26.07.2019

Принята в печать 30.08.2019

Accepted 30.08.2019

ПСИХОЛОГИЯ ОБРАЗОВАНИЯ EDUCATIONAL PSYCHOLOGY

Измерение саморегулируемого обучения: обзор инструментов

Вилкова К.А.

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ),
г. Москва, Российская Федерация*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2161-0409>, e-mail: kvilkova@hse.ru

Появившись сравнительно недавно, термин «саморегулируемое обучение» приобрел большую популярность среди зарубежных исследователей в психологии и педагогике. Однако в настоящий момент существует несколько вариантов его понимания. Разнообразие взглядов на определение саморегулируемого обучения породило различные инструменты его измерения. Данная работа представляет собой обзор наиболее распространенных опросников. В статье анализируются такие характеристики инструментов, как теоретическое обоснование, внутренняя структура, а также их валидность. Анализ инструментов измерения саморегулируемого обучения показывает, что в их основе лежат разные факторные структуры, которые являются отражением представления авторов о данном конструкте. В статье также приводятся рекомендации по выбору инструмента и даются направления для будущих исследований.

Ключевые слова: саморегулируемое обучение, социально-когнитивная теория, инструменты измерения, опросники.

Для цитаты: Вилкова К.А. Измерение саморегулируемого обучения: обзор инструментов [Электронный ресурс] // Современная зарубежная психология. 2020. Том 9. № 2. С. 123—132. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090211>

Measuring self-regulated learning: a review of questionnaires

Kseniia A. Vilkova

*National Research University «Higher School of Economics», Moscow, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4260-9087>, e-mail: kvilkova@hse.ru*

In recent years, there has been a growing interest in «self-regulated learning» among researchers in psychology and pedagogy. However, at the moment there is no consensus of what it meant by it. The diversity of views resulted in a number of different measures. This paper presents a review of the most common questionnaires measuring self-regulated learning. The author analyses such questionnaires' characteristics as theoretical background, internal structure, and validity. The analysis reveals that all of the questionnaires are based on different internal structures, which reflect authors' ideas about self-regulated learning. Finally, the conclusion gives the recommendations for choosing a questionnaire and identifies the areas for further research.

Keywords: self-regulated learning, social-cognitive theory, measures, questionnaires.

For citation: Vilkova K.A. Measuring self-regulated learning: A review of questionnaires [Elektronnyi resurs]. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya = Journal of Modern Foreign Psychology*, 2020. Vol. 9, no. 2, pp. 123—132. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090211> (InRuss.).

Введение

На протяжении десятилетий исследователи и преподаватели задаются вопросом о том, что стоит за успехом учащихся в процессе обучения. Одним из

ключевых навыков, отличающих успешных студентов, является навык саморегулируемого обучения (self-regulated learning) [10]. Саморегулируемое обучение определяется как процесс, в рамках которого учащиеся ставят перед собой цели обучения, а затем отслежива-

ют, регулируют и контролируют свои познания, намерения и поведение, руководствуясь не только своими целями, но и особенностями окружающей среды [31]. Согласно В.В. Давыдову, решая учебную задачу, учащийся овладевает обобщенными способами действия, которые представляют собой основные компоненты учебной деятельности [4]. В результате учащиеся с развитым навыком саморегулируемого обучения имеют более высокие образовательные результаты [33; 45], они могут усваивать материалы курса быстрее [19], и чаще достигать собственных целей [22].

Понятие «саморегулируемое обучение» обязано своим появлением социально-когнитивной теории А. Бандуры [29]. В своей работе «Социальные основы мысли и действия: социально-когнитивная теория» («Social Foundations of Thought and Action: A Social Cognitive Theory») этот автор подчеркивает, что поведение человека формируется через когнитивные, поведенческие и средовые факторы [14]. В соответствии с социально-когнитивной теорией А. Бандуры, процесс саморегулируемого обучения связан не только с личностными характеристиками учащихся, но и с их поведением во время учебы, а также со стимулами окружающей среды.

Таким образом, во время учебы возникает взаимодействие между тремя переменными: когнитивными (например, представления об успешности деятельности), поведенческими (например, вовлеченность в процесс решения задачи) и средовыми (например, оценка деятельности преподавателем) факторами [47].

Саморегулируемое обучение является относительно новым термином в психологии и педагогике. Первые

работы, в которых изучается данный термин, начали появляться в начале 80-х гг. прошлого века [40]. Стоит отметить, что изучение саморегулируемого обучения приобретает все большую распространенность среди исследователей. По данным реферативной базы Web of Science¹, за последние девятнадцать лет число научных публикаций по этой теме увеличилось в 24 раза по сравнению с периодом с 1986 по 1999 г. (рис. 1).

В отечественной науке проблеме саморегуляции учебной деятельности также уделяется большое внимание. Нельзя не отметить исследования по саморегуляции учебной деятельности, представленные в работах В.В. Давыдова [2], Л.И. Божович [1], Г.А. Цукерман [5], а также деятельность Лаборатории психологии саморегуляции под руководством В.И. Моросановой [3]. Пожалуй, наибольший вклад в развитие саморегулируемого обучения вносит научная школа В.В. Давыдова, развивающая теорию учебной деятельности [4]. Саморегулируемое обучение выступает в качестве особого вида учебной деятельности, находя воплощение в действиях контроля и оценки. Действие контроля В.В. Давыдов называет особым видом учебного действия. В первую очередь, это связано с тем, что в рамках этого учебного действия его предмет является не результат, а способ, который помогает достигнуть данного результата. Помимо контроля В.В. Давыдов уделяет внимание такому виду учебного действия, как оценка, представляющая собой соотношение результата деятельности с конечной целью [2].

Популярность исследований саморегулируемого обучения обусловлена важностью этого навыка для успешной учебы. Согласно модели Циммермана (Zimmerman)

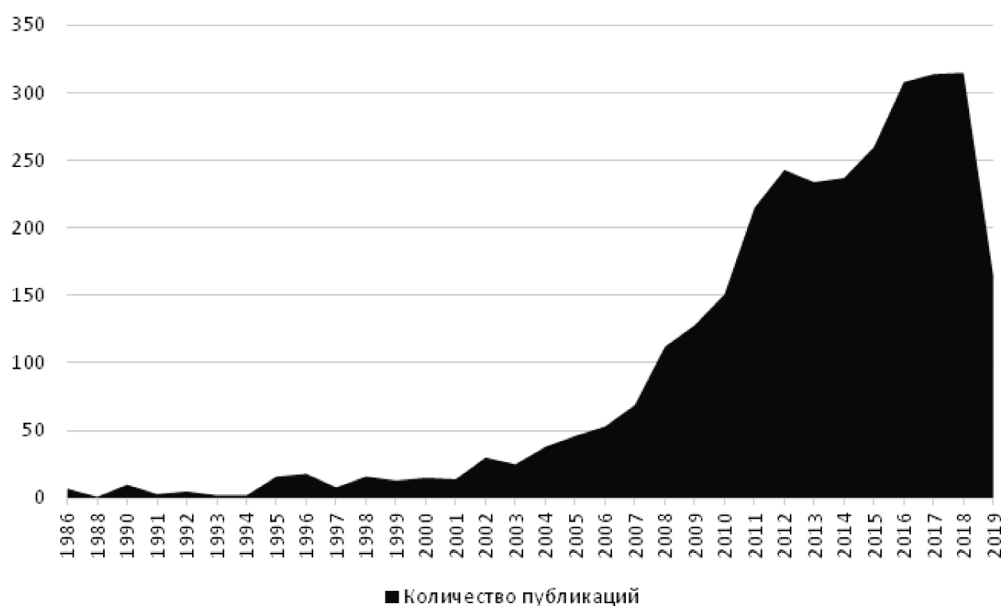


Рис. 1. Динамика количества научных публикаций по теме «саморегулируемое обучение» (по данным Web of Science)

¹ Web of Science является одной из крупнейших международных баз цитирования. В опубликованных статьях можно отследить новейшие на текущий момент разработки и увидеть детали последних исследований. Однако данные Web of Science, как правило, ограничены публикациями на английском языке.

[48], саморегулируемое обучение можно описать через действия, которые учащиеся совершают в процессе учебы. Он рассматривает их через три циклических процесса: планирование, деятельность и рефлексия (рис. 2). Циммерман и Шунк (Zimmerman & Schunk) [49] отмечают, что высокий уровень саморегулируемого обучения проявляется в способности учащихся планировать, ставить цели, организовывать собственный процесс обучения, а также самостоятельно оценивать свои результаты. Таким образом, в одной из ключевых зарубежных моделей саморегулируемого обучения можно увидеть процессы, аналогичные тем, что были предложены В.В. Давыдовым — контроль и оценку.

При этом навык саморегулируемого обучения не является статичным: его можно развивать в процессе учебы, предлагая различные интервенции [7; 8]. Разработка мер по совершенствованию навыка саморегулируемого обучения невозможна без наличия четкого понимания того, как измерять этот конструкт. Для того чтобы определить уровень саморегулируемого обучения и предложить варианты его развития, стали создаваться различные инструменты оценки. Однако, по мнению Панадеро (Panadero) [29], в настоящий момент существует несколько вариантов понимания термина «саморегулируемое обучение».

Разнообразие мнений исследователей породило появление различных инструментов, каждый из которых отражает представления авторов о структуре саморегулируемого обучения.

Инструменты измерения саморегулируемого обучения

Саморегулируемое обучение, как правило, измеряется при помощи самоотчетов [30]. В систематическом обзоре Рот, Огрин и Шмитц (Roth, Ogrin, Schmitz) [36] представлено три типа инструментов: опросники, интервью и методика «Мыслить вслух» («think aloud»). Авторы отмечают, что в подавляющем большинстве (87%) работ по изучению саморегулируемого обучения исследователи используют первый тип инструмен-

тов — опросники. Это объясняется как простотой их применения, так и количественным дизайном исследований.

Опросник «Мотивационные стратегии в обучении» (The Motivated Strategies for Learning Questionnaire — MSLQ)

Опросник «Мотивационные стратегии в обучении» разработан Пинтрич, Смит, Гарсия и Маккичи (Pintrich, Smith, Garcia, McKeachie) для студентов вузов [35]. Теоретической основой для инструмента послужила модель саморегулируемого обучения, ранее предложенная Пинтрич: он предлагает измерять данный конструкт совместно с мотивацией учащихся [31].

MSLQ создан для оценки двух шкал: мотивационных ориентаций и стратегий обучения. Мотивационный компонент опросника измеряет цели и ценности студентов относительно обучения, их представления о навыках, которые необходимы для успешного обучения, и тревожность студентов во время выполнения заданий. Стратегии обучения направлены на оценку когнитивных и метакогнитивных стратегий обучения, а также использование студентами различных учебных ресурсов. Инструмент состоит из 81 утверждения, которые оцениваются по 7-балльной шкале Ликерта (1=совсем на меня не похоже, 7=очень похоже на меня).

MSLQ апробирован на студентах различных направлений подготовки: инженерных [34], медицинских [12; 39], педагогических [18] и других. Авторами также была разработана укороченная версия MSLQ для учащихся старших классов школы, которая состоит из 44 утверждений [32]. В данной версии была изменена внутренняя структура инструмента: опросник состоит из 5 субшкал (самоэффективность, ориентация на внутренние цели, тревожность во время выполнения заданий, саморегулируемое обучение, использование стратегий обучения).

Согласно работе Рот, Огрин и Шмитц (Roth, Ogrin, & Schmitz) [34], MSLQ является наиболее популярным инструментом для измерения саморегулируемого обучения. Оригинальная версия MSLQ была адаптирована на многие языки: турецкий [38], персидский [16],

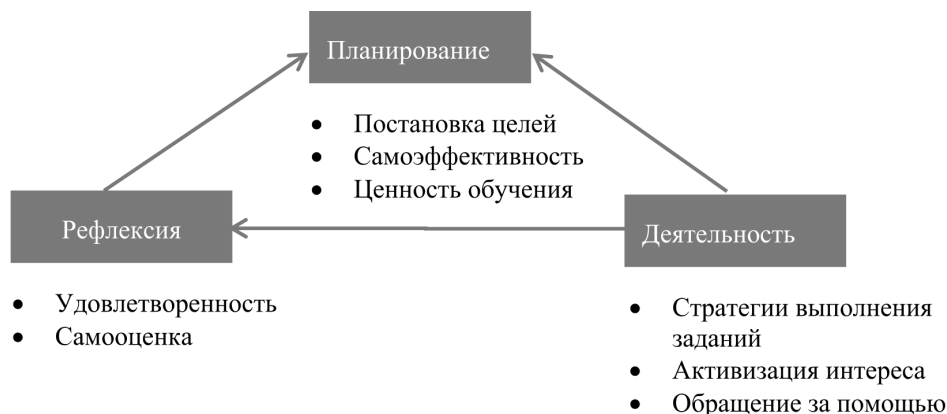


Рис. 2. Модель саморегулируемого обучения Циммермана [схема составлена на основе работы: 49]

эстонский [13], испанский [34], арабский [39], датский [27] и китайский [15]. Кроме того, большинство субшкал MSLQ показали хорошую предсказательную валидность: баллы по ним коррелировали с оценками за предмет, который изучался студентами [35].

**Опросник «Стратегии познания и обучения»
(The Learning and Study Strategies Inventory — LASSI)**

Опросник «Стратегии познания и обучения» имеет достаточно долгую процедуру разработки и психометрической оценки, которая подробно описана авторами [42]. Существует три версии LASSI, опубликованные в 1987, 2002 и 2016 гг. Каждая новая версия была улучшенным вариантом предыдущей, например, авторы изменяли формулировки утверждений с низким показателем надежности [43] или добавляли новые субшкалы [42].

Среди исследователей наибольшую распространенность получила версия вторая LASSI, выпущенная в 2002 г. Ее внутренняя структура представлена тремя шкалами: навык, желание и саморегуляция; на каждую из шкал приходится от 3 до 4 субшкал, которые объединяют утверждения, направленные на оценку определенного конструкта. Степень согласия с утверждениями выражается по 5-балльной шкале Ликерта (1=совсем на меня не похоже, 5=очень похоже на меня).

Согласно исследованию Вест и Садоски (West & Sadoski) [44], две субшкалы опросника («планирование рабочего времени» и «самодиагностика») являются наиболее сильными предикторами успеваемости студентов медицинских направлений подготовки. В одной из работ также было показано, что такие черты большой пятерки, как экстраверсия и нейротизм, связаны с уровнем саморегулируемого обучения [20].

Помимо оригинальной версии для студентов высших учебных заведений разработана версия LASSI для учащихся старшей школы [41]. В последствии LASSI был переведен на китайский [46], арабский [6] и греческий [20] языки.

Опросник «Саморегулируемое обучение в онлайн-среде» (The Online Self-Regulated Learning Questionnaire — OSLQ)

Опросник «Саморегулируемое обучение в онлайн-среде» создан для измерения саморегулируемого обучения в рамках смешанного и онлайн-форматов [25]. OSLQ состоит из шести шкал: организация рабочего пространства, постановка целей, планирование рабочего времени, обращение за помощью, стратегии выполнения задания, самооценка. В опроснике используется 5-балльная шкала Ликерта (1=полностью не согласен, 5=полностью согласен).

В работе Казан (Cazan) [11] была предпринята попытка оценить критериальную валидность OSLQ на выборке студентов. Однако только две шкалы опросника — организация учебного пространства и постановка целей — значимо коррелировали с образовательными результатами.

В настоящий момент OSLQ — единственный инструмент по измерению саморегулируемого обучения, который имеет русскоязычную версию [28]. Помимо этого, OSLQ был адаптирован на турецкий [21], румынский [11] и китайский [17] языки.

**Шкала академической саморегуляции
(The Academic Self-Regulation Scale — A-SRL)**

Шкала академической саморегуляции разработана Магно (Magno) в 2010 г. В качестве теоретической основы для опросника выступила рамка, предложенная Циммерманом [23] и отраженная в сценарии интервью «Саморегулируемое обучение» («Self-Regulated Learning Interview Schedule»): Магно провел ряд когнитивных интервью со студентами для того, чтобы сформировать пул утверждений инструмента.

A-SRL состоит из семи шкал: стратегии запоминания, постановка целей, самооценка, обращение за помощью, организация рабочего пространства, ответственность за процесс обучения, организация. Для выражения степени согласия с утверждениями A-SRL используется 4-балльная шкала Ликерта (1=полностью не согласен, 4=полностью согласен).

Утверждать, что данный опросник получил распространение, пока нельзя: исследований, в которых используется этот инструмент, немного. В своей работе 2011 года Магно (Magno) [24] показал, что баллы по опроснику A-SRL коррелируют с баллами по субшкалам для двух других инструментов саморегулируемого обучения — MSLQ и LASSI, тем самым можно судить о критериальной валидности инструмента.

Обобщая анализ содержания представленных опросников, можно сделать вывод: каждый автор предлагает измерять саморегулируемое обучение, опираясь на различные теоретические представления.

По мнению Боекаертез (Boekaerts) [9], разнообразие мнений об операционализации саморегулируемого обучения можно объяснить тем, что этот термин находится на стыке нескольких научных направлений. В результате исследователи каждый раз «изобретают колесо» («reinvent the wheel») [9, с. 162], создавая новые рамки релевантности термина.

В результате отсутствие единого и общепринятого инструмента по измерению саморегулируемого обучения затрудняет сопоставимость результатов различных исследований.

Каждый из рассмотренных здесь опросников имеет как свои особенности, так и общие черты.

Во-первых, авторы инструментов предлагают измерять саморегулируемое обучение как многомерный конструкт: представленные опросники содержат от двух до семи шкал. Шкалы измеряют ряд различных показателей, соответствующих социально-когнитивной теории Бандуры. Так, личностные характеристики учащихся (шкала «самооценка») могут служить примером когнитивного компонента, определенные навыки (шкала «планирование рабочего времени») — пове-

денческого, а взаимодействие с окружающей средой (шкала «обращение за помощью») — средового.

Во-вторых, некоторые из инструментов не только измеряют саморегулируемое обучение как многомерный конструкт, но и как конструкт второго порядка. В инструментах MSLQ и LASSI каждая из шкал состоит из определенного числа субшкал. Например, в LASSI шкала «Саморегуляция» представлена такими субшкалами, как «Концентрация», «Самодиагностика», «Использование учебных ресурсов» и «Планирование рабочего времени». Эта структура опросников сказывается на их объеме: и MSLQ, и LASSI содержат около 80 утверждений.

Следует также отметить теоретические рамки, которые послужили базой для разработки инструментов. Опросник MSLQ основан на рамке саморегулируемого обучения Пинтрич, а базой для разработки A-SRL послужила рамка Циммермана. В свою очередь, информации о теоретической основе LASSI и OSLO нет.

Несмотря на расхождения авторов в представлениях о саморегулируемом обучении, некоторые из инструментов содержат одинаковые шкалы. Так, разработчики OSLO и A-SRL предлагают в качестве индикаторов саморегулируемого обучения такие переменные, как «постановка целей» и «организация рабочего пространства».

Заключение

Анализ инструментов измерения саморегулируемого обучения показывает, что в их основе лежат разные факторные структуры, которые являются отражением представления авторов о данном конструкте. Поэтому фактор выбора инструмента для измерения саморегулируемого обучения в рамках исследования определяется рядом важных нюансов.

В первую очередь, выбор определенного инструмента подразумевает выбор теоретической рамки, на основе которой он был разработан. Если в основе исследования лежит уже существующая рамка по измерению саморегулируемого обучения, то следует обратить внимание на такие инструменты, как MSLQ и A-SRL. В основе MSLQ лежит концептуальная модель Пинтрич, который предлагает рассматривать саморегулируемое обучение в связке с мотивацией учащихся. В свою очередь, инструмент A-SRL был разработан на основе модели Циммермана: его концептуализация саморегулируемого обучения в большей степени опирается социально-когнитивную теорию Бандуры.

Во-вторых, немаловажным определяющим фактором выбора является сам объект исследования. Представленные инструменты могут быть использованы для измерения уровня саморегулируемого обучения у студентов высших учебных заведений. Если в исследовании изучается опыт студентов смешанного или онлайн-формата обучения, то лучше будет отдать предпочтение OSLO. Этот инструмент был специально

разработан в соответствии с опытом обучения слушателей онлайн-курсов. Стоит также отметить, что у MSLQ и LASSI есть укороченные версии, которые могут применяться для учащихся старшей школы.

Следует обратить внимание и на такой фактор выбора, как продолжительность процедуры проведения исследования. Чрезмерно нагруженная вопросами анкета может утомить респондентов, что является угрозой для качества собираемых данных. Как правило, при проведении опросов в анкету помимо выбранного психологического опросника закладываются другие инструменты. Некоторые из представленных инструментов состоят из достаточно большого количества утверждений, что затрудняет их применение. Чтобы избежать этой проблемы, разработчики MSLQ предлагают использовать не полную версию инструмента, а его отдельные шкалы.

Подводя итог, нельзя не подчеркнуть как значимость навыка саморегулируемого обучения для достижения успеха в образовании, так и растущий интерес исследователей к изучению данной темы.

Анализ содержания представленных опросников позволяет также сформулировать несколько направлений будущих исследований.

Первое связано с адаптацией инструментов для русскоязычной выборки. На данный момент только один из опросников, OSLO, был переведен на русский язык и может быть использован для исследовательских целей. Появление валидных и надежных инструментов измерения позволит увеличить количество исследований на русском языке, посвященных изучению саморегулируемого обучения, так как в настоящий момент в реферативной базе «Web of Science» не представлено русскоязычных публикаций по этой теме.

Второе направление будущих исследований заключается в создании дополнительных версий инструментов. Сейчас существует два опросника, которые позволяют измерить уровень саморегулируемого обучения у учащихся старшей школы — MSLQ и LASSI. Инструментов для школьников более младшего возраста пока что не разработано. При этом исследователи подчеркивают важность своевременного измерения уровня саморегулируемого обучения у детей, для того чтобы успешно развивать этот навык в процессе учебы [40].

Третье направление будущих исследований саморегулируемого обучения направлено на соотнесение содержания шкал и субшкал рассматриваемых опросников с уровнями сформированности учебной деятельности, выделенными В.В. Давыдовым. Сформированность учебной деятельности в целом и ее отдельных компонентов является важным показателем, которые характеризуют эффективность работы педагога и самого учащегося [2]. Представленные в этом обзоре опросники могут быть использованы как для срезовых, так и для лонгитюдных замеров сформированности учебной деятельности.

Наконец, перспективным направлением совершенствования инструментов измерения саморегули-

руемого обучения является анализ нереактивных данных. Исследователи отмечают, что опросники представляют собой форму самоотчета и носят ретроспективный характер [30], поэтому ответы респондентов могут содержать ошибки или искажения [37]. Использование нереактивных данных

может решить эти проблемы. Например, в одной из работ [26] данные онлайн-платформы о процессе обучения слушателей массовых открытых онлайн-курсов и опросная информация были проанализированы в соответствии с теоретической рамкой саморегулируемого обучения.

Литература

1. *Божович Л.И.* Проблемы формирования личности: Избранные психологические труды / Под ред. Д.И. Фельдштейна. М.: МПСИ, 2001. 352 с.
2. *Давыдов В.В., Маркова А.К.* Концепция учебной деятельности школьников [Электронный ресурс] // Вопросы психологии. 1981. № 6. С. 13—26. URL: <http://voppsy.ru/issues/1981/816/816013.htm> (дата обращения: 16.06.2020).
3. *Моросанова В.И., Фомина Т.Г., Цыганов И.Ю.* Осознанная саморегуляция и отношение к учению в достижении учебных целей. СПб.: Нестор-История, 2017. 380 с.
4. *Рубцов В.В.* В.В. Давыдов — основатель научной школы и директор Психологического института РАО [Электронный ресурс] // Культурно-историческая психология. 2005. Том 1. № 2. С. 17—29. URL: https://psyjournals.ru/files/1328/kip_2005_n2_Rubtsov.pdf (дата обращения: 16.06.2020).
5. *Цукерман Г.А.* Обучение ведет за собой развитие. Куда? [Электронный ресурс] // Вопросы образования. 2010. № 1. С. 42—89. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obuchenie-vedet-za-soboy-razvitie-kuda/viewer> (дата обращения: 16.06.2020).
6. *Alkhateeb H.M., Nasser R.* Assessment of Learning and Study Strategies of University Students in Qatar Using an Arabic Translation of the Learning and Study Strategies Inventory // Psychological Reports. 2014. Vol. 114. № 3. P. 947—965. DOI:10.2466/11.03.PR0.114k26w3
7. *Azevedo R., Cromley J.G.* Does Training on Self-Regulated Learning Facilitate Students' Learning with Hypermedia? // Journal of Educational Psychology. 2004. Vol. 96. № 3. P. 523—535. DOI:10.1037/0022-0663.96.3.523
8. *Becker L.L.* Self-Regulated Learning Interventions in the Introductory Accounting Course: an Empirical Study // Issues in Accounting Education. 2013. Vol. 28. № 3. P. 435—460. DOI:10.2308/iace-50444
9. *Boekaerts M.* Self-Regulated Learning: a New Concept Embraced by Researchers, Policy Makers, Educators, Teachers, and Students // Learning and Instruction. 1997. Vol. 7. № 2. P. 161—186. DOI:10.1016/S0959-4752(96)00015-1
10. Can a Self-Regulated Strategy Intervention Close the Achievement Gap? Exploring a Classroom-Based Intervention in 9th Grade Earth Science / C.E. Andrzejewski [et al.] // Learning and Individual Differences. 2016. Vol. 49. P. 85—99. DOI:10.1016/j.lindif.2016.05.013
11. *Cazan A.M.* Self-Regulated Learning and Academic Achievement in the Context of Online Learning Environments // The 10th International Scientific Conference eLearning and Software for Education (Bucharest, April, 24—25, 2014). "Carol I" National Defence University. 2014. № 3. P. 90—95. DOI:10.12753/2066-026X-14-153
12. *Cook D.A., Thompson W.G., Thomas K.G.* The Motivated Strategies for Learning Questionnaire: Score Validity among Medicine Residents // Medical Education. 2011. Vol. 45. № 12. P. 1230—1240. DOI:10.1111/j.1365-2923.2011.04077.x
13. Cross-cultural Adaptation and Psychometric Properties of the Estonian Version of MSLQ / K. Saks [et al.] // Procedia — Social and Behavioral Sciences. 2015. Vol. 191. P. 597—604. DOI:10.1016/j.sbspro.2015.04.278
14. *Dinsmore D.L., Alexander P.A., Loughlin S.M.* Focusing the Conceptual Lens on Metacognition, Self-Regulation, and Self-Regulated Learning // Educational Psychology Review. 2008. Vol. 20. № 4. P. 391—409. DOI:10.1007/s10648-008-9083-6
15. Examining Cross-Cultural Transferability of Self-Regulated Learning Model: an Adaptation of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire for Chinese Adult Learners / F. Tong [et al.] // Educational Studies. 2019. P. 1—18. DOI:10.1080/03055698.2019.1590183
16. *Feiz P., Hooman H.A.* Assessing the Motivated Strategies for Learning Questionnaire (MSLQ) in Iranian Students: Construct Validity and Reliability // Procedia — Social and Behavioral Sciences. 2013. Vol. 84. P. 1820—1825. DOI:10.1016/j.sbspro.2013.07.041
17. *Fung J.J., Yuen M., Yuen A.H.* Validity Evidence for a Chinese Version of the Online Self-Regulated Learning Questionnaire with Average Students and Mathematically Talented Students // Measurement and Evaluation in Counseling and Development. 2018. Vol. 51. № 2. P. 111—124. DOI:10.1080/07481756.2017.1358056
18. *Hamilton R.J., Akhter S.* Construct Validity of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire // Psychological reports. 2009. Vol. 104. № 3. P. 711—722. DOI:10.2466/PR0.104.3.711-722
19. *Kizilcec R.F., Pérez-Sanagustín M., Maldonado J.J.* Self-Regulated Learning Strategies Predict Learner Behavior and Goal Attainment in Massive Open Online Courses // Computers & Education. 2017. № 104. P. 18—33. DOI:10.1016/j.compedu.2016.10.001

20. *Kokkinos C.M., Kargiotidis A., Markos A.* The Relationship between Learning and Study Strategies and Big Five Personality Traits among Junior University Student Teachers // *Learning and Individual Differences*. 2015. № 43. P. 39—47. DOI:10.1016/j.lindif.2015.08.031
21. *Korkmaz O., Kaya S.* Adapting Online Self-Regulated Learning Scale into Turkish [Электронный ресурс] // *Turkish Online Journal of Distance Education*. 2012. Vol. 13. № 1. P. 52—67. URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ976929.pdf> (дата обращения: 16.06.2020).
22. Learning in MOOCs: Motivations and SelfRegulated Learning in MOOCs / A. Littlejohn [et al.] // *The Internet and Higher Education*. 2016. Vol. 29. P. 40—48. DOI:10.1016/j.iheduc.2015.12.003
23. *Magno C.* Assessing Academic Self-Regulated Learning among Filipino College Students: the Factor Structure and Item Fit [Электронный ресурс] // *The International Journal of Educational and Psychological Assessment*. 2010. Vol. 5. P. 61—76. DOI:10.1016/j.iheduc.2015.12.003 URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2287208 (дата обращения: 16.06.2020).
24. *Magno C.* Validating the Academic Self-Regulated Learning Scale with the Motivated Strategies for Learning Questionnaire (MSLQ) and Learning and Study Strategies Inventory (LASSI) [Электронный ресурс] // *The International Journal of Educational and Psychological Assessment*. 2011. Vol. 7. № 2. P. 56—73. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2287180 (дата обращения: 16.06.2020).
25. Measuring Self-Regulation in Online and Blended Learning Environments / L. Barnard [et al.] // *Internet and Higher Education*. 2009. Vol. 12. № 1. P. 1—6. DOI:10.1016/j.iheduc.2008.10.005
26. Mining Theory-Based Patterns from Big Data: Identifying Self-Regulated Learning Strategies in Massive Open Online Courses / J. Maldonado-Mahauad [et al.] // *Computers in Human Behavior*. 2018. Vol. 80. P. 179—196. DOI:10.1016/j.chb.2017.11.011
27. *Nielsen T.* The Intrinsic and Extrinsic Motivation Subscales of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire: a Rasch-Based Construct Validity Study // *Cogent Education*. 2018. Vol. 5. № 1. P. 1—19. DOI:10.1080/2331186X.2018.1504485
28. Online Self-Regulated Learning Questionnaire in a Russian MOOC / R. Martinez-Lopez [et al.] // *Computers in Human Behavior*. 2017. Vol. 75. P. 966—974. DOI:10.1016/j.chb.2017.06.015
29. *Panadero E.* A Review of Self-Regulated Learning: Six Models and Four Directions for Research // *Frontiers in Psychology*. 2017. Vol. 8. Article ID 422. P. 1—28. DOI:10.3389/fpsyg.2017.00422
30. *Panadero E., Klug J., Järvelä S.* Third Wave of Measurement in the Self-Regulated Learning Field: When Measurement and Intervention Come Hand in Hand // *Scandinavian Journal of Educational Research*. 2016. Vol. 60. № 6. P. 723—735. DOI:10.1080/00313831.2015.1066436
31. *Pintrich P.R.* The Role of Goal Orientation in Self-Regulated Learning // *Handbook of Self-Regulation*. Academic Press, 2000. P. 451—502. DOI:10.1016/B978-012109890-2/50043-3
32. *Pintrich P.R., De Groot E.V.* Motivational and Self-Regulated Learning Components of Classroom Academic Performance // *Journal of Educational Psychology*. 1990. Vol. 82. № 1. P. 33—40. DOI:10.1037/0022-0663.82.1.33
33. *Ragosta P.* The Effectiveness of Intervention Programs to Help College Students Acquire Self-Regulated Learning Strategies: a Meta-Analysis: Ph. D. Thesis. New York, 2010. 113 p.
34. *Ramírez Echeverry J.J., García Carrillo A., Olarte Dussan F.A.* Adaptation and Validation of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire — MSLQ — in Engineering Students in Colombia [Электронный ресурс] // *International Journal of Engineering Education*. 2016. Vol. 32. № 4. P. 1774—1787. URL: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/107554> (дата обращения: 16.06.2020).
35. Reliability and Predictive Validity of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire (MSLQ) / P.R. Pintrich [et al.] // *Educational and Psychological Measurement*. 1993. Vol. 53. № 3. P. 801—813. DOI:10.1177/0013164493053003024
36. *Roth A., Ogrin S., Schmitz B.* Assessing Self-Regulated Learning in Higher Education: a Systematic Literature Review of Self-Report Instruments // *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*. 2016. Vol. 28. № 3. P. 225—250. DOI:10.1007/s11092-015-9229-2
37. *Sudman S., Bradburn N.M.* Effects of Time and Memory Factors on Response in Surveys // *Journal of the American Statistical Association*. 1973. Vol. 68. № 344. P. 805—815. DOI:10.1080/01621459.1973.10481428
38. The Turkish Adaptation Study of Motivated Strategies for Learning Questionnaire (MSLQ) for 12—18 Year Old Children: Results of Confirmatory Factor Analysis [Электронный ресурс] / S. Karadeniz [et al.] // *The Turkish Online Journal of Educational Technology*. 2008. Vol. 7. № 4. P. 108—117. URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED503477.pdf> (дата обращения: 16.06.2020).
39. Validity of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire in Saudi Arabia / S.B. Dayel [et al.] // *International Journal of Medical Education*. 2018. № 9. P. 309—315. DOI:10.5116/ijme.5bec.81cf
40. *Vassallo S.* Implications of Institutionalizing Self-Regulated Learning: an Analysis from Four Sociological Perspectives // *Educational Studies*. 2011. Vol. 47. № 1. P. 26—49. DOI:10.1080/00131946.2011.540984
41. *Weinstein C.E., Palmer D.R.* LASSI-HS: Learning and Study Strategies Inventory-High School Version [Электронный ресурс]. Clearwater: H&H Publishing Company, 1990. URL: https://www.hhpublishing.com/ap/_assessments/LASSI-HS.html (дата обращения: 16.06.2020).

42. Weinstein C.E., Palmer D.R., Acee T.W. User's Manual Learning and Study Strategies Inventory Third Edition [Электронный ресурс]. Clearwater: H&H Publishing Company, 2016. 55 p. URL: <https://www.hhpublishing.com/LASSImanual.pdf> (датаобращения: 16.06.2020).
43. Weinstein C.E., Palmer D.R., Schulte A.C. LASSI: Learning and Study Strategies Inventory-Revised [Электронный ресурс]. Clearwater: H&H Publishing Company, 2002. URL: https://www.hhpublishing.com/ap/_assessments/LASSI-3rd-Edition.html (датаобращения: 16.06.2020).
44. West C., Sadoski M. Do Study Strategies Predict Academic Performance in Medical School? // *Medical Education*. 2011. Vol. 45. № 7. P. 696—703. DOI:10.1111/j.1365—2923.2011.03929.x
45. Williams P.E., Hellman C.M. Differences in Self-Regulation for Online Learning between First- and Second-Generation College Students // *Research in Higher Education*. 2004. Vol. 45. № 1. P. 71—82. DOI:10.1023/B:RIHE.0000010047.46814.78
46. Yip M.C. The Reliability and Validity of the Chinese Version of the Learning and Study Strategies Inventory (LASSI—C) // *Journal of Psychoeducational Assessment*. 2013. Vol. 31. № 4. P. 396—403. DOI:10.1177/0734282912452835
47. Zimmerman B.J. A Social Cognitive View of Self—Regulated Academic Learning // *Journal of Educational Psychology*. 1989. Vol. 81. № 3. P. 329—339. DOI:10.1037/0022-0663.81.3.329
48. Zimmerman B.J. Self—Regulated Learning and Academic Achievement: an Overview // *Educational Psychologist*. 1990. Vol. 25. № 1. P. 3—17. DOI:10.1207/s15326985ep2501_2
49. Zimmerman B.J., Schunk D.H. *Self-regulated Learning and Academic Achievement: Theoretical Perspectives*. London: Routledge, 2001. 430 p.

References

1. Bozhovich L.I. Problemy formirovaniya lichnosti: Izbrannyye psikhologicheskie trudy [Problems of personality formation: Selected psychological works]. In Fel'dshteina D.I. (ed.). Moscow: MPSI, 2001. 352 p. (In Russ.).
2. Davydov V.V., Markova A.K. Kontseptsiya uchebnoi deyatel'nosti shkol'nikov [The concept of educational activity of schoolchildren] [Elektronnyi resurs]. *Voprosy psikhologii* [Questions of psychology], 1981, no. 6, pp. 13—26. URL: <http://voppsy.ru/issues/1981/816/816013.htm> (Accessed 16.06.2020). (In Russ.).
3. Morosanova V.I., Fomina T.G., Tsyganov I.Yu. Osoznannaya samoregulyatsiya i otnoshenie k ucheniyu v dostizhenii uchebnykh tselei [Conscious self-regulation and attitude towards learning in achieving educational goals]. Sankt-Peterburg: Nestor-Istoriya, 2017. 380 p. (In Russ.).
4. Rubtsov V.V. V.V. Davydov — osnovatel' nauchnoi shkoly i direktor Psikhologicheskogo instituta RAO [V.V. Davydov — the founder of scientific school and director of the Psychological Institute] [Elektronnyi resurs]. *Kul'turno-istoricheskaya psikhologiya* [Cultural-historical psychology], 2005. Vol. 1, no. 2, pp. 17—29. URL: https://psyjournals.ru/files/1328/kip_2005_n2_Rubtsov.pdf (Accessed 16.06.2020). (In Russ.; Abstr. in Engl.).
5. Tsukerman G.A. Obuchenie vedet za soboi razvitie. Kuda? [Learning leads development. Where?] [Elektronnyi resurs]. *Voprosy obrazovaniya* [Issues of education], 2010. Vol. 1, pp. 42—89. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obuchenie-vedet-za-soboy-razvitie-kuda/viewer> (Accessed 16.06.2020). (In Russ.; Abstr. in Engl.).
6. Alkhateeb H.M., Nasser R. Assessment of Learning and Study Strategies of University Students in Qatar Using an Arabic Translation of the Learning and Study Strategies Inventory. *Psychological Reports*, 2014. Vol. 114, no. 3, pp. 947—965. DOI:10.2466/11.03.PR0.114k26w3
7. Azevedo R., Cromley J.G. Does Training on Self-Regulated Learning Facilitate Students' Learning with Hypermedia? *Journal of Educational Psychology*, 2004. Vol. 96, no. 3, pp. 523—535. DOI:10.1037/0022-0663.96.3.523
8. Becker L.L. Self-Regulated Learning Interventions in the Introductory Accounting Course: an Empirical Study. *Issues in Accounting Education*, 2013. Vol. 28, no. 3, pp. 435—460. DOI:10.2308/iace-50444
9. Boekaerts M. Self-Regulated Learning: a New Concept Embraced by Researchers, Policy Makers, Educators, Teachers, and Students. *Learning and Instruction*, 1997. Vol. 7, no. 2, pp. 161—186. DOI:10.1016/S0959-4752(96)00015-1
10. Andrzejewski C.E. et al. Can a Self-Regulated Strategy Intervention Close the Achievement Gap? Exploring a Classroom—Based Intervention in 9th Grade Earth Science. *Learning and Individual Differences*, 2016. Vol. 49, pp. 85—99. DOI:10.1016/j.lindif.2016.05.013
11. Cazan A.M. Self-Regulated Learning and Academic Achievement in the Context of Online Learning Environments. *The 10th International Scientific Conference eLearning and Software for Education (Bucharest, April, 24-25, 2014)*. “Carol I” National Defence University, 2014, pp. 90—94. DOI:10.12753/2066-026X-14-153
12. Cook D.A., Thompson W.G., Thomas K.G. The Motivated Strategies for Learning Questionnaire: Score Validity among Medicine Residents. *Medical Education*, 2011. Vol. 45, no. 12, pp. 1230—1240. DOI:10.1111/j.1365—2923.2011.04077.x
13. Saks K. et al. Cross-cultural Adaptation and Psychometric Properties of the Estonian Version of MSLQ. *Procedia—Social and Behavioral Sciences*, 2015. Vol. 191, pp. 597—604. DOI:10.1016/j.sbspro.2015.04.278
14. Dinsmore D.L., Alexander P.A., Loughlin S.M. Focusing the Conceptual Lens on Metacognition, Self-Regulation, and Self-Regulated Learning. *Educational Psychology Review*, 2008. Vol. 20, no. 4, pp. 391—409. DOI:10.1007/s10648-008-9083-6

15. Tong F. et al. Examining Cross—Cultural Transferability of Self-Regulated Learning Model: an Adaptation of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire for Chinese Adult Learners. *Educational Studies*, 2019, pp. 1—18. DOI:10.1080/03055698.2019.1590183
16. Feiz P., Hooman H.A. Assessing the Motivated Strategies for Learning Questionnaire (MSLQ) in Iranian Students: Construct Validity and Reliability. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2013. Vol. 84, pp. 1820—1825. DOI:10.1016/j.sbspro.2013.07.041
17. Fung J.J., Yuen M., Yuen A.H. Validity Evidence for a Chinese Version of the Online Self-Regulated Learning Questionnaire with Average Students and Mathematically Talented Students. *Measurement and Evaluation in Counseling and Development*, 2018. Vol. 51, no. 2, pp. 111—124. DOI:10.1080/07481756.2017.1358056
18. Hamilton R.J., Akhter S. Construct Validity of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire. *Psychological reports*, 2009. Vol. 104, no. 3, pp. 711—722. DOI:10.2466/PR0.104.3.711-722
19. Kizilcec R.F., Pérez-Sanagustín M., Maldonado J.J. Self-Regulated Learning Strategies Predict Learner Behavior and Goal Attainment in Massive Open Online Courses. *Computers & Education*, 2017, no. 104, pp. 18—33. DOI:10.1016/j.compedu.2016.10.001
20. Kokkinos C.M., Kargiotidis A., Markos A. The Relationship between Learning and Study Strategies and Big Five Personality Traits among Junior University Student Teachers. *Learning and Individual Differences*, 2015. Vol. 43, pp. 39—47. DOI:10.1016/j.lindif.2015.08.031
21. Korkmaz O., Kaya S. Adapting Online Self-Regulated Learning Scale into Turkish [Elektronnyi resurs] // Turkish Online Journal of Distance Education, 2012. Vol. 13, no. 1, pp. 52—67. URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ976929.pdf> (Accessed 16.06.2020).
22. Littlejohn A. et al. Learning in MOOCs: Motivations and Self-Regulated Learning in MOOCs. *The Internet and Higher Education*, 2016. Vol. 29, pp. 40—48. DOI:10.1016/j.iheduc.2015.12.003
23. Magno C. Assessing Academic Self-Regulated Learning among Filipino College Students: the Factor Structure and Item Fit [Elektronnyi resurs]. *The International Journal of Educational and Psychological Assessment*, 2010. Vol. 5, pp. 61—76. DOI:10.1016/j.iheduc.2015.12.003. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2287208 (Accessed 16.06.2020).
24. Magno C. Validating the Academic Self-Regulated Learning Scale with the Motivated Strategies for Learning Questionnaire (MSLQ) and Learning and Study Strategies Inventory (LASSI) [Elektronnyi resurs]. *The International Journal of Educational and Psychological Assessment*, 2011. Vol. 7, no. 2, pp. 56—73. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2287180 (Accessed 16.06.2020).
25. Barnard L. et al. Measuring Self-Regulation in Online and Blended Learning Environments. *Internet and Higher Education*, 2009. Vol. 12, no. 1, pp. 1—6. DOI:10.1016/j.iheduc.2008.10.005
26. Maldonado-Mahauad J. et al. Mining Theory-Based Patterns from Big Data: Identifying Self—Regulated Learning Strategies in Massive Open Online Courses. *Computers in Human Behavior*, 2018. Vol. 80, pp. 179—196. DOI:10.1016/j.chb.2017.11.011
27. Nielsen T. The Intrinsic and Extrinsic Motivation Subscales of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire: a Rasch-Based Construct Validity Study. *Cogent Education*, 2018. Vol. 5, no. 1, pp. 1—19. DOI:10.1080/2331186X.2018.1504485
28. Martinez-Lopez R. et al. Online Self-Regulated Learning Questionnaire in a Russian MOOC. *Computers in Human Behavior*, 2017. Vol. 75, pp. 966—974. DOI:10.1016/j.chb.2017.06.015
29. Panadero E. A Review of Self-Regulated Learning: Six Models and Four Directions for Research. *Frontiers in Psychology*, 2017. Vol. 8, article ID 422, pp. 1—28. DOI:10.3389/fpsyg.2017.00422
30. Panadero E., Klug J., Järvelä S. Third Wave of Measurement in the Self-Regulated Learning Field: When Measurement and Intervention Come Hand in Hand. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 2016. Vol. 60, no. 6, pp. 723—735. DOI:10.1080/00313831.2015.1066436
31. Pintrich P.R. The Role of Goal Orientation in Self-Regulated Learning. In Boekaerts M., Pintrich P.R., Zeidner M. (eds.), *Handbook of Self-Regulation*. Academic Press, 2000, pp. 451—502. DOI:10.1016/B978-012109890-2/50043-3
32. Pintrich P.R., De Groot E.V. Motivational and Self-Regulated Learning Components of Classroom Academic Performance. *Journal of Educational Psychology*, 1990. Vol. 82, no. 1, pp. 33—40. DOI:10.1037/0022-0663.82.1.33
33. Ragosta P. The Effectiveness of Intervention Programs to Help College Students Acquire Self-Regulated Learning Strategies: a Meta-Analysis: Ph. D. Thesis. New York, 2010. 113 p.
34. Ramírez Echeverry J.J., García Carrillo À., Olarte Dussan F.A. Adaptation and Validation of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire — MSLQ — in Engineering Students in Colombia [Elektronnyi resurs]. *International Journal of Engineering Education*, 2016. Vol. 32, no. 4, pp. 1774—1787. URL: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/107554> (Accessed 16.05.2020).
35. Pintrich P.R. et al. Reliability and Predictive Validity of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire (MSLQ). *Educational and Psychological Measurement*, 1993. Vol. 53, no. 3, pp. 801—813. DOI:10.1177/0013164493053003024
36. Roth A., Ogrin S., Schmitz B. Assessing Self-Regulated Learning in Higher Education: a Systematic Literature Review of Self-Report Instruments. *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, 2016. Vol. 28, no. 3, pp. 225—250. DOI:10.1007/s11092-015-9229-2

37. Sudman S., Bradburn N.M. Effects of Time and Memory Factors on Response in Surveys. *Journal of the American Statistical Association*, 1973. Vol. 68, no. 344, pp. 805—815. DOI:10.1080/01621459.1973.10481428
38. Karadeniz S. et al. The Turkish Adaptation Study of Motivated Strategies for Learning Questionnaire (MSLQ) for 12—18 Year Old Children: Results of Confirmatory Factor Analysis [Elektronnyi resurs]. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 2008. Vol. 7, no. 4, pp. 108—117. URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED503477.pdf> (Accessed 16.05.2020).
39. Dayel S.B. et al. Validity of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire in Saudi Arabia. *International Journal of Medical Education*, 2018, no. 9, pp. 309—315. DOI:10.5116/ijme.5bec.81cf
40. Vassallo S. Implications of Institutionalizing Self-Regulated Learning: an Analysis from Four Sociological Perspectives. *Educational Studies*, 2011. Vol. 47, no. 1, pp. 26—49. DOI:10.1080/00131946.2011.540984
41. Weinstein C.E., Palmer D.R. LASSI-HS: Learning and Study Strategies Inventory-High School Version [Elektronnyi resurs]. Clearwater: H&H Publishing Company, 1990. URL: https://www.hhpublishing.com/ap/_assessments/LASSI-HS.html (Accessed 16.05.2020).
42. Weinstein C.E., Palmer D.R., Acee T.W. User's Manual Learning and Study Strategies Inventory Third Edition [Elektronnyi resurs]. Clearwater: H&H Publishing Company, 2016. 55 p. URL: <https://www.hhpublishing.com/LASSImanual.pdf> (дата обращения: 16.05.2020).
43. Weinstein C.E., Palmer D.R., Schulte A.C. LASSI: Learning and Study Strategies Inventory-Revised [Elektronnyi resurs]. Clearwater: H&H Publishing Company, 2002. URL: https://www.hhpublishing.com/ap/_assessments/LASSI-3rd-Edition.html (Accessed 16.05.2020).
44. West C., Sadoski M. Do Study Strategies Predict Academic Performance in Medical School? *Medical Education*, 2011. Vol. 45, no. 7, pp. 696—703. DOI:10.1111/j.1365—2923.2011.03929.x
45. Williams P.E., Hellman C.M. Differences in Self-Regulation for Online Learning between First- and Second-Generation College Students. *Research in Higher Education*, 2004. Vol. 45, no. 1, pp. 71—82. DOI:10.1023/B:RIHE.0000010047.46814.78
46. Yip M.C. The Reliability and Validity of the Chinese Version of the Learning and Study Strategies Inventory (LASSI-C). *Journal of Psychoeducational Assessment*, 2013. Vol. 31, no. 4, pp. 396—403. DOI:10.1177/0734282912452835
47. Zimmerman B.J. A Social Cognitive View of Self-Regulated Academic Learning. *Journal of Educational Psychology*, 1989. Vol. 81, no. 3, pp. 329—339. DOI:10.1037/0022-0663.81.3.329
48. Zimmerman B.J. Self-Regulated Learning and Academic Achievement: an Overview. *Educational Psychologist*, 1990. Vol. 25, no. 1, pp. 3—17. DOI:10.1207/s15326985ep2501_2
49. Zimmerman B.J., Schunk D.H. Self-regulated Learning and Academic Achievement: Theoretical Perspectives. London: Routledge, 2001. 430 p.

Информация об авторах

Вилкова Ксения Александровна, аспирант и младший научный сотрудник, Центр социологии высшего образования, Институт образования, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2161-0409>, e-mail: kvilkova@hse.ru

Information about the authors

Kseniia A. Vilkova, Junior Research Fellow and Postgraduate Student, Centre of Sociology of Higher Education, Institute of Education, National Research University «Higher School of Economics», Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4260-9087>, e-mail: kvilkova@hse.ru

Получена 03.09.2019
Принята в печать 04.12.2019

Received 03.09.2019
Accepted 04.12.2019

Наши авторы

Акинкина Яна Михайловна — аспирант, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ); психолог-консультант, Центр поддержки материнства, г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1027-6978>

yana.akinkina@mail.ru

Александров Юрий Иосифович — профессор, доктор психологических наук, член-корреспондент Российской академии образования, заведующий лабораторией психофизиологии имени В.Б. Швыркова, Институт психологии Российской академии наук (ФГБун ИП РАН); заведующий лабораторией нейрокогнитивных исследований индивидуального опыта Института экспериментальной психологии, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2644-3016>

yuraalexandrov@yandex.ru

Арутюнова Карина Роландовна — кандидат психологических наук, ассоциированный научный сотрудник лаборатории психофизиологии имени В.Б. Швыркова. Институт психологии Российской академии наук (ФГБун ИП РАН), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3056-5670>

arutyunova@inbox.ru

Бальгина Елена Анатольевна — кандидат филологических наук, доцент кафедры зарубежной и русской филологии, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5558-1389>

elenabalygina@rambler.ru

Вилкова Ксения Александровна — аспирант и младший научный сотрудник, Центр социологии высшего образования, Институт образования, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4260-9087>

kvilkova@hse.ru

Горбунова Елена Сергеевна — кандидат психологических наук, заведующая лабораторией когнитивной психологии пользователя цифровых интерфейсов, доцент департамента психологии, Национальный Исследовательский Университет «Высшая Школа Экономики» (НИУ ВШЭ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3646-2605>

gorbunovaes@gmail.com

Ермолова Татьяна Викторовна — кандидат психологических наук, заведующая кафедрой зарубежной и русской филологии, профессор кафедры зарубежной и русской филологии, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4260-9087>

yermolova@mail.ru

Клеева Дария Федоровна — исполнитель проекта РФФИ № 19-313-51039, реализуемого на базе Научно-технологического университета «Сириус», Сочи, Россия; стажер-исследователь, Институт когнитивных нейронаук, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6040-2154>

dkleeva@gmail.com

Ковалева Анастасия Владимировна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии функциональных состояний человека, Научно-исследовательский институт нормальной физиологии имени П.К. Анохина (ФГБНУ «НИИФ» имени П.К. Анохина), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7377-3408>

a.kovaleva@nphys.ru

Козунова Галина Леонидовна — кандидат психологических наук, старший научный сотрудник Центра нейрокогнитивных исследований (МЭГ-центр), Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1286-8654>

chukhutova@gmail.com

Кривоногова Ксения Дмитриевна — аспирант кафедры психологии и педагогики факультета гуманитарного образования, педагог-психолог, Институт социальных технологий и реабилитации, Новосибирский государственный технический университет (ФГБОУ ВО НГТУ), г. Новосибирск, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4773-0396>

kseniansk123@gmail.com

Ларионова Екатерина Владимировна — младший научный сотрудник лаборатории высшей нервной деятельности человека, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук (ИНВД и НФ РАН), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3637-1343>

larionova.ekaterin@gmail.com

Литвинов Александр Викторович — кандидат педагогических наук, профессор кафедры зарубежной и русской филологии, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ); доцент кафедры иностранных языков экономического факультета, Российский университет дружбы народов (ФГАОУ ВО РУДН), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3306-0021>

alisal01@yandex.ru

Наши авторы

Мартынова Ольга Владимировна — доктор философских наук, заведующая лабораторией высшей нервной деятельности человека, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук (ИНВД и НФ РАН), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9047-2893>

omartynova@ihna.ru

Медведев Владимир Александрович — младший научный сотрудник Центра нейрокогнитивных исследований (МЭГ-центр), Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3252-8809>

ixdon@yandex.ru

Разоренова Александра Михайловна — аспирант центра вычислительных систем и анализа данных в науке и технике (CDISE), Сколковский институт науки и технологий; младший научный сотрудник Центра нейрокогнитивных исследований (МЭГ-центр), Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3386-6914>

razoral@ya.ru

Разумникова Ольга Михайловна — доктор биологических наук, профессор кафедры психологии и педагогики, Новосибирский государственный технический университет (ФГБОУ ВО НГТУ), г. Новосибирск, Российская федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7831-9404>

razoum@mail.ru

Ребрейкина Анна Борисовна — кандидат биологических наук, исполнитель проекта РФФИ № 19-313-51039, реализуемого на базе Научно-технологического университета «Сириус», Сочи, Россия; научный сотрудник лаборатории высшей нервной деятельности человека, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук (ИНВД и НФ РАН), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5714-2040>

anna.rebreikina@gmail.com

Рыткова Анна Менашевна — кандидат технических наук, младший научный сотрудник Центра нейрокогнитивных исследований (МЭГ-центр), Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0153-9457>

ann.zelener@mail.ru

Савицкая Наталья Васильевна — кандидат педагогических наук, доцент кафедры зарубежной и русской филологии, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1769-5553>

n.sawa@yandex.ru

Сайфулина Ксения Эльдусовна — младший научный сотрудник Центра нейрокогнитивных исследований (МЭГ-центр), Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2017-0811>

kseniasayfulina@gmail.com

Скавронская Валерия Владимировна — младший научный сотрудник Центра нейрокогнитивных исследований (МЭГ-центр), Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0093-6592>

skavronskaya.valerie@mail.ru

Созинава Ирина Михайловна — научный сотрудник лаборатории нейрокогнитивных исследований индивидуального опыта, Институт экспериментальной психологии, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ); ассоциированный сотрудник лаборатории психофизиологии им. В.Б. Швыркова, институт психологии Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9422-8748>

eiole@yandex.ru

Сысоева Ольга Владимировна — кандидат психологических наук, руководитель проекта РФФИ № 19-313-51039, реализуемого на базе Научно-технологического университета «Сириус», Сочи, Россия; ведущий научный сотрудник лаборатории высшей нервной деятельности человека, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук (ИНВД и НФ РАН), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4005-9512>

olga.v.sysoeva@gmail.com

Тюленев Никита Борисович — младший научный сотрудник Центра нейрокогнитивных исследований (МЭГ-центр), Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1214-7478>

tnb6@yandex.ru

Чернышев Борис Владимирович — кандидат биологических наук, руководитель Центра нейрокогнитивных исследований (МЭГ-центр), Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ); доцент кафедры высшей нервной деятельности биологического факультета, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ имени М.В. Ломоносова); доцент департамента психологии факультета социальных наук, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8267-3916>

b_chernysh@mail.ru

Our authors

Akinkina Yana M. — Postgraduate, Moscow State University of Psychology & Education; Psychologist, Centre of Support of Maternity, Moscow, Russia, ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1027-6978>

yana.akinkina@mail.ru

Alexandrov Yuri I. — Doctor of Psychology, Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Education, Head of V.B. Shvyrkov Laboratory of Neural Bases of Mind, Institute of Psychology Russian Academy of Science; Head of Laboratory of Neurocognitive Research of Individual Experience, Institute of Experimental Psychology, Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2644-3016>

yuraalexanrov@yandex.ru

Arutyunova Karina R. — PhD in Psychology, Associate Researcher, V.B. Shvyrkov Laboratory of Neural Bases of Mind, Institute of Psychology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3056-5670>

arutyunova@inbox.ru

Balygina Elena A. — PhD in Philology, the Department of Foreign and Russian Philology, Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5558-1389>

balygina@nextmail.ru

Vilkova Ksenia A. — Junior Research Fellow and Postgraduate Student, Centre of Sociology of Higher Education, Institute of Education, National Research University «Higher School of Economics», Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4260-9087>

kvilkova@hse.ru

Gorbunova Elena S. — PhD in Psychology, Laboratory Head, Laboratory for Cognitive Psychology of Digital Interface Users, Assistant Professor, School of Psychology, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3646-2605>

gorbunovaes@gmail.com

Ermolova Tatiana V. — PhD in Psychology, Head of the Chair of Foreign and Russian Philology, Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4260-9087>

yermolova@mail.ru

Kleeva Daria F. — Junior Researcher on RFBR № 19-313-51039, Sirius University of Science and Technology, Sochi, Russia; Institute of Cognitive Neuroscience, National Research University «Higher School of Economics», Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6040-2154>

dkleeva@gmail.com

Kovaleva Anastasia V. — PhD in Biology, senior researcher, P.K. Anokhin Research Institute of Normal Physiology, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7377-3408>

a.kovaleva@nphys.ru

Kozunova Galina L. — PhD in Psychology, Senior Researcher, Center for Neurocognitive Research (MEG Center), Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1286-8654>

chukhutova@gmail.com

Krивonogova Kseniya D. — Postgraduate Student, Psychology and Pedagogic Department, teacher-psychologist, Institute of Social Technologies and Rehabilitation, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4773-0396>

kseniansk123@gmail.com

Larionova Ekaterina V. — Junior Researcher, Laboratory of Human Higher Nervous Activity, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3637-1343>

larionova.ekaterin@gmail.com

Litvinov Aleksandr V. — PhD in pedagogy, Professor of the Chair of Foreign and Russian philology, Moscow State University of Psychology & Education; Associate Professor, Foreign Languages Department at the Faculty of Economics, Peoples' Friendship university of Russia, (RUDN University), Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3306-0021>

alial01@yandex.ru

Martynova Olga V. — Doctor of Philosophy, Head of the Laboratory, Laboratory of Human Higher Nervous Activity, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9047-2893>

omartynova@ihna.ru

Medvedev Vladimir A. — Junior Researcher, Center for Neurocognitive Research (MEG Center), Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0153-9457>

ixdon@yandex.ru

Our authors

Razorenova Alexandra M. — Post-Graduate Student, Center for Computational and Data-Intensive Science and Engineering (CDISE), Skolkovo Institute of Science and Technology, Junior researcher, Center for Neurocognitive Research (MEG center), Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3386-6914>

razoral@ya.ru

Razumnikova Olga M. — Doctor of Biology, Professor, Psychology and Pedagogic Department, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7831-9404>

razoum@mail.ru

Rebreikina Anna B. — PhD in Biology, Senior researcher on RFBR № 19-313-51039, Sirius University of Science and Technology, Sochi, Russia; Researcher, Laboratory of Human Higher Nervous Activity, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5714-2040>

anna.rebreikina@gmail.com

Rytkova Anna M. — PhD in Engineering, Junior Researcher, Center for Neurocognitive Research (MEG Center), Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0153-9457>

ann.zelener@mail.ru

Savitskaya Natalia V. — PhD in pedagogy, Associate Professor of the Department of Foreign and Russian, Psychology, Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1769-5553>

n.sawa@yandex.ru

Sayfulina Ksenia E. — Junior Researcher, Center for Neurocognitive Research (MEG Center), Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2017-0811>

kseniasayfulina@gmail.com

Skavronskaya Valeriya V. — Junior Researcher, Center for Neurocognitive Research (MEG Center), Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0093-6592>

skavronskaya.valerie@mail.ru

Sozinova Irina M. — Researcher, Laboratory of Neurocognitive Research of Individual Experience, Institute of Experimental Psychology, Moscow State University of Psychology & Education; Associate Member of the V. B. Shvyrkov Laboratory of Psychophysiology, Institute of Psychology Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9422-8748>

eirole@yandex.ru

Sysoeva Olga V. — PhD in Psychology, PI on RFBR № 19-313-51039, Sirius University of Science and Technology, Sochi, Russia; Leading Researcher, Laboratory of Human Higher Nervous Activity, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4005-9512>

olga.v.sysoeva@gmail.com

Tyulenev Nikita B. — Junior Researcher, Center for Neurocognitive Research (MEG Center), Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1214-7478>

tnb6@yandex.ru

Chernyshev Boris V. — PhD in Biology, Head of the Center for Neurocognitive Research (MEG-center), Moscow State University of Psychology & Education; Associate Professor, Department of Higher Nervous Activity, Faculty of Biology, Lomonosov Moscow State University; Associate Professor, Department of Psychology, National Research University «Higher School of Economics», Moscow Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8267-3916>

b_chernysh@mail.ru