



ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СООТНОШЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ ФУНКЦИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВНИМАНИЯ И ЗРИТЕЛЬНО-ОБРАЗНОЙ ПАМЯТИ

РАЗУМНИКОВА О.М.*, Новосибирский государственный технический университет (ФГБОУ ВО НГТУ); Научно-исследовательский институт физиологии и фундаментальной медицины (ФГБНУ НИИФФМ), Новосибирск, Россия,
e-mail: razoum@mail.ru

Известно, что старение сопровождается ослаблением процессов торможения в центральной нервной системе, однако, при значительной индивидуальной вариабельности. В связи с этим целью исследования стало изучение закономерностей этих возрастных особенностей с использованием экспериментальных моделей исполнительного контроля внимания и памяти. Установлено, что обнаруженные для двадцатилетних взаимосвязи интеллекта, скорости селекции информации, объема кратковременной зрительной памяти и показателя проактивной интерференции нарушаются у шестидесятилетних. Для обеих возрастных групп характерна дифференциация стратегий запоминания: эффект либо забывания, вызванный воспроизведением, либо обучения запоминанию в ходе тестирования. У молодых лиц с доминированием первого эффекта повышение интеллекта сопровождается ускорением селективных процессов, а с доминированием второго — большим объемом зрительной памяти и большей интерференцией; а у пожилых — только связями памяти с показателем интерференции или со скоростью селекции информации соответственно. Молодые люди, для которых характерно доминирование эффекта забывания, вызванного воспроизведением, отличаются более высоким интеллектом от тех представителей своей возрастной группы, кто характеризуется преобладанием стратегии обучения; а пожилые — лучшим исполнительным контролем внимания. Следовательно, несмотря на положительное влияние обучения, связанного с тестированием памяти, эффективность когнитивной деятельности в пожилом возрасте в большей степени связана с сохранностью тормозных функций в процессах интерференции информации.

Ключевые слова: тормозные функции исполнительного контроля и памяти, интеллект, возраст.

Исполнительный контроль поведения включает разные функции, в том числе интерференционный контроль селективного внимания и воспроизведения информации (Diamond, 2013; Miyake, Friedman, 2012), выбор решения в ситуации когнитивного диссонанса или вероятностного исхода события, а также инициацию или подавление определенного типа деятельности (Николаева, Вергунов, 2017; Luna et al., 2015). Ведущая роль процессов торможения в изменениях этих функций определяется тем, что именно тормозной

Для цитаты:

Разумникова О.М. Возрастные особенности соотношения тормозных функций исполнительной системы внимания и зрительно-образной памяти // Экспериментальная психология. 2019. Т. 12. № 2. С. 61—74. doi:10.17759/exppsy.2019120205

* Разумникова Ольга Михайловна, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры психологии и педагогики, Новосибирский государственный технический университет (ФГБОУ ВО НГТУ); главный научный сотрудник, Научно-исследовательский институт физиологии и фундаментальной медицины (НИИФФМ), Новосибирск, Россия. E-mail: razoum@mail.ru



контроль ответственен за эффективность идентификации и селекции релевантной информации в рабочей памяти, переключение внимания или поддержание его фокуса при выполнении последовательности действий с игнорированием дистракторов и, наконец — за организацию наиболее приемлемой реакции (Hasher et al., 1999).

Особое внимание уделяется изучению организации тормозных функций на начальных и поздних стадиях онтогенеза, так как формирование исполнительского контроля рассматривается как основа успешного обучения детей (Ribner et al., 2017; Sanchez-Perez et al., 2017) и предиктор их высокого интеллекта и социального статуса в будущем (Moffitt, 2012), а снижение тормозного контроля при старении — как основа ослабления эффективности когнитивных функций пожилых людей (Hasher, Zacks, 1988). Наряду с многочисленными данными, свидетельствующими об уменьшении тормозного контроля при старении (например: Darowski et al., 2008; Zanto et al., 2010), имеются доказательства отсутствия подобных возрастных различий. Для объяснения обнаруженных противоречий предлагается учитывать эффект дифференциации процессов торможения в системах организации восприятия и селекции информации, ее запоминания, моторики и речи (Dempster, Corkill, 1999; Germain, Collette, 2008; Friedman, Miyake, 2017), который и может приводить к разным вариантам в интеграции когнитивных ресурсов этих систем и, соответственно, к вариативности конечного результата.

Возрастное снижение эффективности когнитивной деятельности предположительно представлено тремя основными процессами: ухудшением тормозного контроля, снижением рабочей памяти и снижением скорости ментальных операций. Однако единства во мнениях о том, как взаимосвязаны эти процессы и какой из них является ведущим, пока не достигнуто (Grégoire et al., 2012; Rozas et al., 2008; Sylvain-Roy et al., 2015).

Ранее нами была показана возрастная реорганизация показателей функций систем внимания и интеллекта с усилением его связи с исполнительным контролем зрительного внимания у пожилых людей и общей, независимой от возраста тенденцией к укреплению взаимосвязи со скоростными характеристиками селекции информации и с вербальной памятью, зарегистрированными в экспериментах с применением процедуры адресации слов левому полушарию (Разумникова, Вольф, 2017). Дополнительно при анализе характеристик памяти обнаружено, что у молодых людей предиктором генерализованного IQ является эффективность вербальной памяти при адресации слов правому полушарию, а у пожилых — показатель узнавания запомненных вербальных и образных стимулов.

Целью настоящей работы стало определение *взаимосвязи* исполнительского контроля внимания и тормозных функций памяти с показателями интеллекта с учетом его вербального и образного компонентов, понимание которой будет способствовать раскрытию механизмов такой возрастной реорганизации когнитивной деятельности. Для определения показателей исполнительской системы внимания была использована модель «Attention Network Test» (ANT), хорошо зарекомендовавшая себя в исследованиях возрастных особенностей селекции информации (Williams et al., 2016; Zhou et al., 2011). Анализ тормозных функций в процессах памяти выполняли, применяя эффект «забывания, вызванного воспоминанием» (*Retrieval-Induced Forgetting* (RIF)) (Anderson, 2003; Murayama et al., 2014). Этот эффект связывают с ухудшением воспроизведения запоминаемых стимулов вследствие проактивной интерференции с вновь поступающей информацией и ослабления созданного следа памяти или исполнительского контроля его извлечения (Anderson et al., 2011; Aslan, Bauml, 2011; Rowland et al., 2014).



Метод

В исследовании принимали участие 163 испытуемых, составивших две возрастные группы: первая группа — 88 человек (ГР_М) (возрастной диапазон $-20,8 \pm 4,2$ лет, 35 мужчин) и вторая группа 75 человек (ГР_П) (возрастной диапазон $63,2 \pm 6,0$ лет, 32 мужчины).

Для определения скоростных характеристик селекции информации и исполнительного контроля внимания использовали компьютеризированную методику (программист А.М. Суслов, А.с. 2012617379 от 16.08.2012), разработанную в рамках подхода по оценке систем внимания (ANT) (Fan et al., 2002). Подробное описание методики было представлено ранее (Разумникова, Вольф, 2017). В соответствии с целями настоящего исследования, анализ функций внимания и зрительно-моторной памяти осуществлялся на основании оценки показателей времени реакции на центральную стрелку в ситуации селекции конгруэнтных (ВРк) (рис. 1 А) и неконгруэнтных (ВРнк) (Рис. 1 Б) стимулов, а также показателя функции системы исполнительного внимания (ВРик), который вычисляли как разницу между ВРнк и ВРк.



Рис. 1. Стимулы, предъявляющиеся для определения исполнительной системы внимания: А — конгруэнтные, Б — неконгруэнтные

Для анализа тормозных функций в процессах памяти использовали оригинальную компьютеризированную методику (Разумникова, Савиных, 2016; Razumnikova et al., 2016), предназначенную для свободного запоминания объектов в серии случайно предъявляемых стимулов с инструкцией «отмечать курсором мышки тот объект, который не был отмечен ранее». При первом предъявлении на экране появлялись три стимула из набора в 30 объектов живого мира разных категорий, разного цвета и разного пространственного расположения (рис. 2). После индивидуального выбора одного из объектов предъявлялся следующий набор стимулов с увеличением на один стимул, так что при втором предъявлении на экране присутствовал уже отмеченный объект и еще три случайных объекта и т. д.



Рис. 2. Пример стимулов, предъявляемых при тестировании зрительной памяти



Эксперимент состоял из трех сессий выполнения задания, каждая из которых заканчивалась в случае повторного выбора ранее отмеченного объекта. Время тестирования не регламентировалось. Для анализа учитывали число правильно воспроизведенных объектов в каждой из трех сессий.

Вербальный компонент интеллекта (IQ_v) определяли как среднее двух вербальных субтестов (понятийно-категориальное и логически-ассоциативное мышление), а образный (IQ_s) – как средний показатель выполнения зрительно-пространственных заданий (образный синтез и пространственное мышление) согласно результатам стандартного тестирования по методике Р. Амтхауэра.

Для статистической обработки данных использовали пакет программ Statistica 13.3.1 Ru AXA8051391121ARCN5-S.

Результаты и их обсуждение

Средние значения показателей когнитивных функций для ГР_М и ГР_П приведены в табл.1. При их анализе обнаружены достоверные различия в скорости селекции информации и памяти: ГР_М характеризовалась меньшими значениями ВРк, ВРнк и ВРик и лучшим запоминанием стимулов (сумма запомненных стимулов в трех сериях предъявления – Псум) по сравнению с ГР_П. Эти данные соответствуют хорошо известному устойчивому эффекту снижения скорости реакции в пожилом возрасте и ослабления эффективности запоминания (Разумникова, 2015; Cullum et al., 2000; Salthouse, 1996).

Таблица 1

Средние значения показателей когнитивных функций в группах молодых (ГР_М) и пожилых (ГР_П) участников исследования

Показатель	ГР_М молодые	ГР_П пожилые
Интеллект		
Вербальный (IQ _v)	105,0 ± 11,6	104,8 ± 6,8
Зрительно-пространственный (IQ _s)	104,2 ± 7,8	103,7 ± 6,8
Внимание		
Время реакции (ВРк), мсек	537±76	702±119*
Время реакции (ВРнк), мсек	629±88	807±121*
Ошибки конгруэнтные стимулы (Ок)	0,1 ± 0,3	0,3 ± 1,1
Ошибки неконгруэнтные (Онк)	1,2 ± 1,6	0,9 ± 1,4
ВР исполнительн_контроль (ВРик)	94 ± 38	106 ± 43*
Память		
Сумма память (Псум)	39 ± 16	30 ± 14*
Показатель интерференции (Пин)	4,9 ± 9,2	3,0 ± 8,0*
Пср_ГР_1	12,7 ± 0,5(42) [#]	10,1 ± 0,7 (21)*
Пср_ГР_0	14,0 ± 1,0 (13) [#]	9,3 ± 0,8 (36)*

Примечание: ВРк – время реакции при селекции конгруэнтных стимулов; ВРнк – неконгруэнтных; Пин – показатель интерференции (разница воспроизведения в первой и третьей сессиях тестирования); Пср_ГР_1 – среднее значение воспроизведения в группе с проактивной интерференцией при тестировании памяти; Пср_ГР_0 – среднее значение воспроизведения в группе с обучением при тестировании памяти (в скобках указано количество респондентов); «*» – $p < 0,05$ для возрастных различий; «#» – $p < 0,06$ между ГР_1 и ГР_0, согласно критерию Стьюдента.



Достоверных межгрупповых различий в показателях IQ или ошибках при тестировании внимания не обнаружено, хотя ранее у пожилых людей был отмечен более низкий уровень флюидного интеллекта; относительно генерализованного интеллекта мнения разделились (Разумникова, Вольф, 2017; Baltes et al., 1999; Miller et al., 2009). Возможно, эти противоречия обусловлены тем, что при тестировании IQ наряду со скоростью мышления требуются обширные ресурсы знаний; и так как ГР_М состояла преимущественно из студентов первых курсов университета, а ГР_П была представлена лицами с высшим образованием, то накопленные последними знания могли компенсировать возрастные различия в скорости принятия решения заданий.

Динамика воспроизведения стимулов в трех сессиях тестирования памяти представлена на рис. 3 А, из которого следует, что при сходной траектории снижения количества запомненных образов в ГР_М и ГР_П, первая из групп отличается более выраженным эффектом проактивной интерференции (показатель интерференции вычисляли как разницу между числом запомненных стимулов в первой и третьей сессиях предъявления стимулов) (Пин в табл. 1).

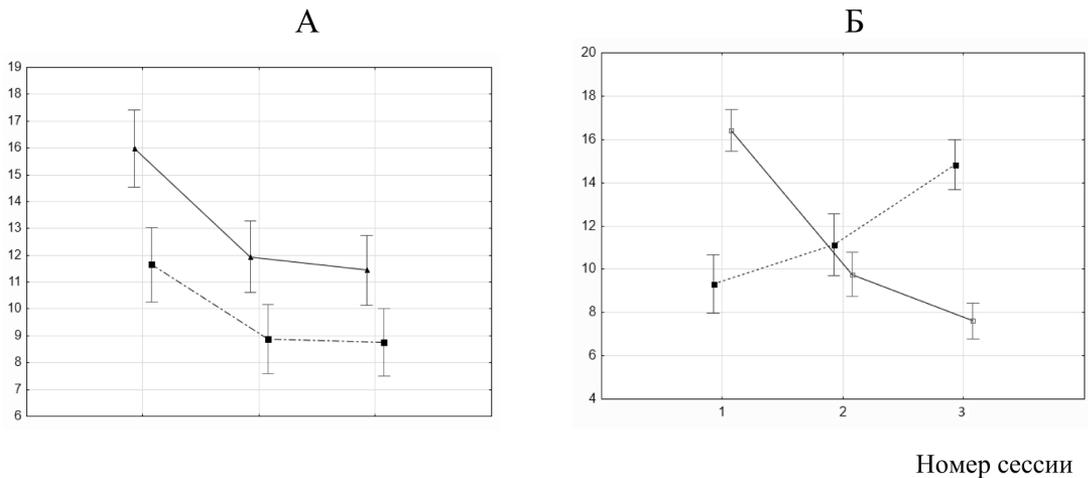


Рис. 3. Изменения показателя воспроизведения стимулов в ходе трех сессий их предъявления для запоминания в группах молодых и пожилых (ГР_М и ГР_П соответственно) (А) и в группах с выраженной интерференцией информации (ГР_1) или спонтанного обучения воспоминанию (ГР_0) (Б)

Феномен RIF рассматривают как отражение тормозных процессов, которые способствуют разрешению конкуренции информации при поиске той, которая необходима для реализации цели. Большой эффект RIF наблюдается при эффективных тормозных функциях (Anderson, Levy, 2010; Noreen, MacLeod, 2015), а его меньшая выраженность связывается с характерным для старения ослаблением тормозных функций, что, предположительно, и объясняет снижение результативности запоминания (Collette et al., 2009; Healey et al., 2013; Lustig et al., 2001).

В исследованиях RIF чаще используют запоминание категориально связанных вербальных или образных стимулов, для воспроизведения которых после стадии обучения предлагаются специальные семантические подсказки (Anderson, 2003; Anderson et al., 2011; Maxeу et al., 2014, 2016). Наша методика была организована таким образом, что испытуе-



мый должен был самостоятельно (без инструкции или подсказки) придумать наилучший способ запоминания стимулов для максимально успешного выполнения задания (спонтанно, классифицируя по цвету, семантической ассоциации или каким либо другим способом). Таким образом, показатель воспроизведения в первой сессии отражал объем кратковременной памяти и индивидуально предпочитаемые способы организации материала, а в последующих сессиях дополнительно — выраженность интерференционных процессов и эффективность торможения иррелевантной нецелевой информации.

При вычислении Пин выяснилось, что выполнение задания принципиально отличалось у разных индивидов: для одних было характерно ухудшение воспроизведения (такие лица вошли в группу, обозначенную как ГР_1), для других, напротив, — его улучшение (в этой группе Пин имел отрицательный знак, т. е. ГР_0). Численный состав групп несколько различался: в ГР_М преобладали те, у кого был выражен эффект RIF, а в ГР_П — улучшение воспроизведения, однако только как тенденция ($p < 0,1$ согласно критерию хи-квадрат) (см. табл. 1). Дальнейший анализ (ANOVA) изменений воспроизведения стимулов выполняли с учетом факторов ВОЗРАСТ (ГР_М и ГР_П), ГРУППА (ГР_1 и ГР_0) и СЕССИЯ (три сессии тестирования).

На рис. 3 Б показаны результаты воспроизведения запомненных стимулов согласно значимому взаимодействию факторов ГРУППА x СЕССИЯ ($F_{2,468} = 122,88$; $p < 0,00001$), указывающие на лучшее воспроизведение объектов в первой сессии в ГР_1, чем в ГР_0, а в третьей, наоборот — в ГР_0. Также достоверно различались между собой показатели воспроизведения в трех сессиях в каждой из групп ($p < 0,01$).

Анализ взаимосвязи факторов ВОЗРАСТ x ГРУППА ($F_{1,234} = 4,09$; $p < 0,04$) указывает на возрастание показателей воспроизведения в группе молодых участников исследования (ГР_М), относящихся к ГР_0, а для пожилых (ГР_П) — из ГР_1 (см. табл. 1); post hoc-анализ данных выявил тенденцию к более высокому результату в ГР_0 по сравнению с ГР_1 только для ГР_М.

Наличие общего, генерализованного, эффекта RIF (рис. 3 А) свидетельствует о том, что и при таких условиях запоминания доминирует проактивная интерференция, вызывающая нарушения в кодировании и/или воспроизведении следа зрительной памяти. Известно, что неоднократное тестирование памяти сопровождается другим, противоположно направленным, процессом обучения запоминанию (*Retrieval-Based Learning*, RBL); такого рода данные были получены в экспериментах с предъявлением разного стимульного материала, в том числе с использованием картинок (Past tter et al., 2011; Roediger, Karpicke, 2006). Существует мнение, что эффект RBL лежит в основе успешного обучения и развития интеллектуальных способностей (Karpicke, Blunt, 2011; Pastotter, Bauml, 2014), однако механизм конкуренции разных процессов (например, фокусирования внимания на целевых стимулах или интерференции), ведущих к RBL или RIF, остается невыясненным.

Для выявления возрастных особенностей тормозных функций в исполнительном контроле внимания и памяти для групп RIF/RBL был выполнен корреляционный анализ данных, показавший, что большим значениям Пин в ГР_1 соответствовали более высокие показатели Псум вне зависимости от возраста ($r = 0,26$; $p < 0,03$), тогда как в ГР_0 эта связь была скорее негативной, хотя и не достигла значимого уровня ($-0,22 < r < 0,06$; $0,14 < p < 0,72$). Подобное соотношение Пин и эффективности памяти было отмечено в исследовании соотношения RIF и объема кратковременной памяти, который оценивали на основе эффективности выполнения арифметических действий с применением словесной подсказки:



увеличение эффекта RIF наблюдалось у индивидов с лучшей памятью, тогда как RBL не коррелировал с показателями памяти (Aslan, Bauml, 2011). Полученный результат авторы связали с индивидуальными особенностями активации лобной коры и ее функциями в исполнительном контроле с торможением иррелевантной информации. Определенную автономность этих двух эффектов подчеркивают данные об их разных нейронных коррелятах (см.: Kuhl et al., 2008; Spitzer et al., 2009; Wimber et al., 2008). Нейроанатомическая модель, предложенная для объяснения префронтальной тормозной модуляции воспроизведения следа памяти, включает три возможных механизма развития торможения при запоминании: переключение внимания на другие стимулы, торможение индивидуально специфической репрезентации памяти и генерализованное торможение гиппокампа и процессов реактивации воспроизведения (Derue, 2012). Такое разнообразие функциональных систем торможения, по-видимому, и обуславливает широко представленную индивидуальную вариабельность механизмов воспроизведения.

Что касается показателей исполнительной системы внимания, то для ГР_1 выявлена негативная корреляция Псум и ВРнк и ВРик в ГР_М, в ГР_П такого рода связь не обнаружена (табл. 2). Негативная связь этого показателя памяти с ВРнк (а также ВРк) была характерна и для лиц ГР_0 из ГР_П, тогда как в ГР_М негативная корреляция Псум была достоверна не только с ВРк, но и с показателем количества ошибок в этой экспериментальной ситуации (Ок) (табл. 2).

Анализ показателей в ГР_М свидетельствует об отрицательной связи уровня интеллекта с ВРнк и ВРик у лиц, входящих в подгруппу ГР_1, и о положительной связи этих показателей с Пин и Псум в подгруппе ГР_0 (табл. 2).

Таблица 2

Корреляции когнитивных функций в зависимости от возраста и принадлежности к группам RIF/RBL

Показатель	ГР_М			ГР_П
	ГР_1 (RIF)			
	Псум	IQv	IQs	Псум
Пин	0,26			0,25
ВРнк	-0,27	-0,40*	-0,44*	
ВРик	-0,22	-0,44*	-0,49*	
	ГР_0 (RBL)			
Пин		0,58	0,51	
Псум		0,63	0,59	
ВРк	-0,35			-0,35
ВРнк	-0,30			-0,30
Ок	-0,43*			

Примечание. «*» – $p < 0,01$; остальные – $p < 0,05$; обозначения, как в табл.1.

Сравнительный анализ групп выявил различия между ГР_1 и ГР_0 по уровню IQv в ГР_М с большими значениями в ГР_1, чем ГР_0 (105,6 и 96,5; $p < 0,01$) и ВРик в ГР_П с более быстрой реакцией в ГР_1, чем ГР_0 (101 и 117 мс; $p < 0,06$).

Таким образом, ожидаемые взаимосвязи IQ, внимания и памяти были выявлены только в показателях испытуемых ГР_М: при доминировании RIF (ГР_1) более высокому



IQ соответствует большая скорость исполнительного контроля внимания, а в ГР_0 — лучшие показатели памяти. В группах пожилых людей таких связей не обнаружено, что может отражать так называемую «дедифференциацию» когнитивных функций (Hulur et al., 2015; Sleimen-Malkoun et al., 2014).

Учитывая, что выбор решения (например, при выполнении заданий в ходе тестирования IQ) основывается на придании более значимого веса одной информации и игнорировании другой, диссоциация в ГР_П обнаруженного в ГР_М соотношения когнитивных функций указывает на иные, непосредственно не связанные с кратковременной памятью механизмы принятия решения, например, извлечение упроченных стереотипных реакций. Так как в ГР_0 (т. е. для лиц с преобладанием эффекта RBL) из ГР_П лучшим показателям памяти (Псум) соответствовало меньшее время реакции при селекции стимулов (ВРк и ВРнк), но она отличалась от ГР_1 большим ВРик, то можно предположить, что эта дополнительная к ослаблению процессов торможения недостаточность в скорости селекции сигналов и принятия решения и приводила к максимально слабой эффективности запоминания (см. табл. 1).

Обнаруженные возрастные особенности в соотношении RIF или RBL можно рассматривать как еще одно доказательство деятельности разных механизмов формирования этих эффектов. С другой стороны, индивидуальные особенности тормозных функций, представленные спецификой организации селекции информации и ее запоминания, следует рассматривать как основу вариабельности в эффективности когнитивной деятельности при старении.

Заключение

Таким образом, организация когнитивных процессов — интеллекта, внимания и памяти — зависит не только от возраста, но и от выраженности тормозных функций при запоминании информации. Молодые люди, для которых характерно доминирование эффекта забывания, вызванное воспроизведением, отличаются более высоким интеллектом от тех представителей своей возрастной группы, кто характеризуется преобладанием стратегии обучения, а пожилые — лучшим исполнительным контролем внимания. Установлено, что характерные для двадцатилетних взаимосвязи интеллекта, скорости селекции информации, объема кратковременной зрительной памяти и показателя интерференции при формировании или воспроизведении следа памяти, зависимые от стратегии запоминания, нарушаются у шестидесятилетних — остаются только корреляции памяти и скорости селекции информации в группе с доминированием обучения, связанного с тестированием памяти. Несмотря на положительное влияние обучения запоминанию, эффективность когнитивной деятельности в пожилом возрасте в большей степени определяется сохранностью тормозных функций в процессах интерференции информации.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-06-00166 «Организация тормозного контроля в онтогенезе: значение для обучения и адаптации»).

Литература

1. Николаева Е.И., Вергунов Е.Г. Что такое «Executive functions» и их развитие в онтогенезе // Теоретическая и экспериментальная психология. 2017. Т. 10. № 2. С. 62–81.



2. *Разумникова О.М.* Закономерности старения мозга и способы активации его компенсаторных ресурсов // Успехи физиол. Наук. 2015. Т. 46. № 2. С. 3–16.
3. *Разумникова О.М., Вольф Н.В.* Реорганизация связи интеллекта с характеристиками внимания и памяти при старении // Журн. высш. нервн. деят. 2017. Т. 67. № 1. С. 55–67.
4. *Разумникова О.М., Савиных М.А.* Программный комплекс для определения характеристик зрительно-пространственной памяти. Авторское свидетельство 2016617675. 2016.
5. *Anderson M.C.* Rethinking interference theory: executive control and the mechanisms of forgetting // J. Mem. Lang. 2003. Vol. 49. С. 415–445. doi: 10.1016/j.jml.2003.08.006
6. *Anderson M.C., Levy B.J.* On the relationship between interference and inhibition in cognition In: Successful remembering and successful forgetting: a festschrift in honor. R.A. Bjork, A.S. Benjamin (Eds.) Psychology Press. New York, London, 2010. P. 107–132.
7. *Anderson M.C., Reinholz J., Kuhl B., Mayr U.* Intentional suppression of unwanted memories grows more difficult as we age // Psychology and Aging. 2011. Vol. 26. P. 397–405.
8. *Aslan A., Bauml K.-H.T.* Individual differences in working memory capacity predict retrieval-induced forgetting // J Experimental Psychology Learning, Memory, and Cognition. 2011. Vol. 37. № 1. P. 264–269.
9. *Baltes P.B., Staudinger U.M., Lindenberger U.* Life span psychology: Theory and application to intellectual functioning // Annual Rev. Psychol. 1999. Vol. 50. P. 471–507.
10. *Collette F., Schmidt C., Scherrer S.A., Salmon E.* Specificity of inhibitory deficits in normal aging and Alzheimer's disease // Neurobiology of Aging. 2009. Vol. 30. P. 875–889.
11. *Cullum S., Huppert F.A., McGee M., Dening T., Ahmed A., Paykel E.S., Brayne C.* Decline across different domains of cognitive function in normal ageing: results of a longitudinal population-based study using CAMCOG // Int. J. Geriatr. Psychiatr. 2000. Vol. 15. P. 853–862.
12. *Darowski E.S., Helder E., Zacks R.T., Hasher L., Hambrick D.Z.* Age-related differences in cognition: the role of distraction control // Neuropsychology. 2008. Vol. 22. P. 638–644.
13. *Dempster F.N., Corkill A.J.* Interference and inhibition in cognition and behavior: Unifying themes for educational psychology // Educ. Psychol. Rev. 1999. Vol. 11. P. 1– 88.
14. *Depue B.E.* A neuroanatomical model of prefrontal inhibitory modulation of memory retrieval // Neurosci Biobehav Rev. 2012. Vol. 36. № 5. P. 1382–1399.
15. *Diamond A.* Executive functions // Annu. Rev. Psychol. 2013. Vol. 64. P. 35–68.
16. *Fan J., McCandliss B.D., Sommer T., Raz A., Posner M. I.* Testing the efficiency and independence of attentional networks // J. Cogn. Neurosci. 2002. Vol. 14. № 3. P. 340–347.
17. *Friedman N.P., Miyake A.* Unity and diversity of executive functions Individual differences as a window on cognitive structure // Cortex. 2017. Vol. 86. P. 186–204.
18. *Hasher L., Stoltzfus E.R., Zacks R.T., Rypma, B.* Age and inhibition // Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition. 1991. Vol. 17. P. 163–169.
19. *Hasher L., Zacks R.T.* Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. In: G.H. Bower (Ed.) The psychology of learning and motivation. San Diego, CA: Academic Press. 1988. Vol. 22. P. 193–225.
20. *Hasher L., Zacks R. T., Rahhal T. A.* Timing, instructions, and inhibitory control: Some missing factors in the age and memory debate // Gerontology. 1999. Vol. 45. P. 355–357.
21. *Healey M.K., Hasher L., Campbell K.L.* The role of suppression in resolving interference: Evidence for an age-related deficit // Psychology and Aging. 2013. Vol. 28. № 3. P.721–728.
22. *Hülür G., Ram N., Willis S.L., Schaie K.W., Gerstorf D.* Cognitive dedifferentiation with increasing age and proximity of death: Within-person evidence from the Seattle longitudinal study // Psychol Aging. 2015. Vol. 30. № 2. P. 311–323. doi: 10.1037/a0039260
23. *Friedman N.P., Miyake A.* Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure // Cortex. 2017. Vol. 86. P. 186–204.
24. *Germain S., Collette F.* Dissociation of perceptual and motor inhibitory processes in young and elderly participants using the Simon task // J. Int. Neuropsychol. Soc. 2008. Vol. 14. P. 1014–1021.
25. *Grégoire S., Rivalan M., Le Moine C., Dellu- Hagedorn F.* The synergy of working memory and inhibitory control: Behavioral, pharmacological and neural functional evidences // Neurobiology of Learning and Memory. 2012. Vol. 97. P. 202–212.
26. *Karpicke J.D., Blunt J.R.* Retrieval practice produces more learning than elaborative studying with concept mapping // Science. 2011. Vol. 331. P. 772–775.



27. Kuhl B.A., Kahn I., Dudukovic N.M., Wagner A.D. Overcoming suppression in order to remember: contributions from anterior cingulate and ventrolateral prefrontal cortex // *Cogn Affect Behav Neurosci*. 2008. Vol. 8. № 2. P. 211–221.
28. Luna B., Marek S., Larsen B., Tervo-Clemmens B., Chahal R. An integrative model of the maturation of cognitive control // *Annu. Rev. Neurosci*. 2015. Vol. 38. P. 151–170.
29. Lustig C., May C.P., Hasher L. Working memory and the role of proactive interference // *Journal of Experimental psychology*. General. 2001. Vol. 130. № 2. P. 199–207. doi: 10.1037//0096-3445.130.2.199
30. Maxcey A. M., Woodman G. F. Forgetting induced by recognition of visual images // *Visual Cognition*. 2014. Vol. 22. P. 789–808.
31. Maxcey A.M., Bostic J., Maldonado T. Recognition practice results in a generalizable skill in older adults: Decreased intrusion errors to novel objects belonging to practiced categories // *Applied Cognitive Psychology*. 2016. Vol. 30. P. 643–649.
32. Miller L.J., Myers A, Prinzi L., Mittenberg W. Changes in intellectual functioning associated with normal aging // *Arch. Clin. Neuropsychol*. 2009. Vol. 24. № 7. P. 681–688.
33. Murayama K., Miyatsu T., Buchli D., Storm B. C. Forgetting as a consequence of retrieval: A meta-analytic review of retrieval induced forgetting // *Psychological Bulletin*. 2014. Vol. 140. P. 1383–1409.
34. Lustig C., Hasher L., Tonev S.T. Inhibitory control over the present and the past // *Europ. J. Cogn. Psychol*. 2001. Vol. 13. P. 107–122.
35. Maxcey A.M., Bostic J., Maldonado T. Recognition practice results in a generalizable skill in older adults: Decreased intrusion errors to novel objects belonging to practiced categories // *Applied Cognitive Psychology*. 2016. Vol. 30. P. 643–649.
36. Maxcey A.M., Woodman G.F. Forgetting induced by recognition of visual images // *Visual Cognition*. 2014. Vol. 22. P. 789–808.
37. Miller L.J., Myers A, Prinzi L., Mittenberg W. Changes in intellectual functioning associated with normal aging // *Arch. Clin. Neuropsychol*. 2009. Vol. 24. № 7. P. 681–688.
38. Miyake A., Friedman N. The nature and organization of individual differences in executive functions: four general conclusions // *Curr. Dir. Psychol. Sci*. 2012. Vol. 21. P. 8–14.
39. Moffitt T.E., Arseneault L., Belsky D., Dickson N., Hancox R.J., et al. A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2012. Vol. 108. P. 2693–2698.
40. Murayama K., Miyatsu T., Buchli D., Storm B.C. Forgetting as a consequence of retrieval: a meta-analytic review of retrieval-induced forgetting // *Psychol Bull*. 2014. Vol. 140. № 5. P. 1383–1409.
41. Noreen S., MacLeod M.D. What do we really know about cognitive inhibition? Task demands and inhibitory effects across a range of memory and behavioral tasks // *PLoS ONE*. 2015. Vol. 10. P. 1–21.
42. Pastötter B., Bäuml K-H. Retrieval practice enhances new learning: the forward effect of testing // *Frontiers in psychology*. 2014. Vol. 5. № 286.
43. Pastötter B., Schicker S., Niedernhuber J., Bäuml, K.-H.T. Retrieval during learning facilitates subsequent memory encoding // *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn*. 2011. Vol. 37. P. 287–297. doi:10.1037/a0021801
44. Razumnikova O., Savinykh M., Suslov R., Petrov R. A computerized cognitive test battery. Individual differences in cognitive characteristics: Measuring and dynamic of training // *Proc. 11th Intern. Forum on Strategic Technology (IFOST)*. 2016. P. 256-258.
45. Ribner A.D., Willoughby M.T., Blair C.B. Executive function buffers the association between early math and later academic skills // *Front Psychol*. 2017. Vol. 8. № 869.
46. Roediger H.L.III, Karpicke J.D. The power of testing memory: basic research and implications for educational practice // *Perspect. Psychol. Sci*. 2006. Vol. 1. P. 181–210.
47. Rowland C.A., Bates L.E., DeLosh E.L. On the reliability of retrieval-induced forgetting // *Frontier in Psychology*. 2014. Vol. 5. № 1343.
48. Rozas A.X., Juncos-Rabadán O., González M.S. Processing speed, inhibitory control, and working memory: three important factors to account for age-related cognitive decline // *Int. J. Aging Hum. Dev*. 2008. Vol. 66. P. 115–130.
49. Salthouse T.A. The processing-speed theory of adult age differences in cognition // *Psychol. Rev*. 1996. Vol. 103. P. 403–428.
50. Sánchez-Pérez N, Castillo A, López-López JA, et al. Computer-based training in math and working memory improves cognitive skills and academic achievement in primary school children: Behavioral results // *Frontiers in Psychology*. 2017. Vol. 8. № 2327.



51. Sleimen-Malkoun R., Temprado J.-J., Hong S.L. Aging induced loss of complexity and dedifferentiation: consequences for coordination dynamics within and between brain, muscular and behavioral levels // *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2014. Vol. 6. № 140. doi:10.3389/fnagi.2014.00140
52. Spitzer B., Hanslmayr S., Opitz B., Mecklinger A., Bäuml K.H. Oscillatory correlates of retrieval-induced forgetting in recognition memory // *J Cogn Neurosci*. 2009. Vol. 21. № 5. P. 976–990. doi: 10.1162/jocn.2009.21072
53. Sylvain-Roy S., Lungu O., Belleville S. Normal aging of the attentional control functions that underlie working memory // *J. Gerontol. B Psychol. Sci. Soc. Sci.* 2015. Vol. 70. P. 698–708.
54. Williams R.S., Biel A.L., Wegier P., Lapp L.K., Dyson B.J., Spaniol J. Age differences in the Attention Network Test: Evidence from behavior and event-related potentials // *Brain Cogn*. 2016. Vol. 102. P. 65–79.
55. Wimber M., Bäuml K.H., Bergström Z., Markopoulos G., Heinze H.J., Richardson-Klavehn A. Neural markers of inhibition in human memory retrieval // *J Neurosci*. 2008. Vol. 28. № 50. P. 13419–13427. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1916-08.2008
56. Zanto T.P., Toy B., Gazzaley A. Delays in neural processing during working memory encoding in normal aging // *Neuropsychologia*. 2010. Vol. 48. P. 13–25.
57. Zhou S.S., Fan J., Lee T.M., Wang C.Q., Wang K. Age-related differences in attentional networks of alerting and executive control in young, middle-aged, and older Chinese adults // *Brain Cogn*. 2011. Vol. 75. № 2. P. 205–210.

AGE EFFECT ON RELATIONSHIPS BETWEEN INHIBITORY FUNCTIONS OF EXECUTIVE ATTENTION SYSTEM AND VISUAL MEMORY

RAZUMNIKOVA O.M.*, *State Technical University; State Scientific-Research Institute of Physiology and Basic Medicine, Novosibirsk, Russia,*
e-mail: razoum@mail.ru

It is known that aging is accompanied by a weakening of the processes of inhibition in the central nervous system, but with a significant individual variability. In connection with this, the purpose of the study was to study the patterns of these age effects using experimental models of executive control of attention and memory. It is shown that relationships between the intelligence, the speed of information selection, the volume of short-term visual memory and the indicator of proactive interference that obtained in twenty-year-old adults are disrupted in the sixty-year-olds. For both age groups, differentiation of memory strategies is characterized by either Retrieval-Induced Forgetting or Retrieval-Based Learning. Young with the dominance of the Retrieval-Induced Forgetting effect differ in higher intelligence from those who are characterized by the predominance of Retrieval-Based Learning strategies, and the elderly – the best executive control of attention. Therefore, despite the positive impact of Retrieval-Based Learning on memory, the effectiveness of cognitive activity in the elderly is more closely related to preserving of inhibitory functions in information interference processes.

Keywords: inhibition functions of executive control and memory, intelligence, age.

For citation:

Razumnikova O.M. Age effect on relationships between inhibitory functions of executive attention system and visual memory. *Eksperimental'naya psikhologiya = Experimental psychology (Russia)*, 2019, vol. 12, № 2, pp. 61–74. doi:10.17759/exppsy.2019120205

* *Razumnikova Olga Mikhailovna*, Dr. Sci (Biology), Associate Professor, Professor of Department of Psychology and Pedagogy, Novosibirsk State Technical University; Chief Researcher, State Scientific-Research Institute of Physiology and Basic Medicine, Novosibirsk, Russia. E-mail: razoum@mail.ru



Funding

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 17-06-00166 «Organization of Inhibition Control in Ontogenesis: Importance for Learning and Adaptation»).

References

1. *Nikolaeva E.I., Vergunov E.G.* Chto takoye «Executive functions» i ikh razvitiye v ontogeneze // *Teoreticheskaya i eksperimentalnaya psikhologiya*. 2017. T. 10. № 2. S. 62–81.
2. *Razumnikova O.M.* Zakonomernosti stareniya mozga i sposoby aktivatsii ego kompensatornykh resursov // *Uspekhi fiziol. nauk*, 2015. T. 46. № 2. S. 3–16.
3. *Razumnikova O.M., Volf N.V.* Reorganizatsiya svyazi intellekta s kharakteristikami vnimaniya i pamyati pri starenii // *Zhurn. vyssh. nervn. deyat* 2017. T. 67. № 1. S. 55–67. doi: 10.7868/S0044467717010129
4. *Razumnikova O.M., Savinykh M.A.* Programmny kompleks dlya opredeleniya kharakteristik zritelno-prostranstvennoy pamyati. A.S. 2016617675. 2016.
5. *Anderson M.C.* Rethinking interference theory: executive control and the mechanisms of forgetting // *J. Mem.Lang.*, 2003. V. 49. C.415–445. doi: 10.1016/j.jml.2003.08.006.
6. *Anderson M.C., Levy B.J.* On the relationship between interference and inhibition in cognition In: *Successful remembering and successful forgetting: a festschrift in honor. R.A. Bjork A.S. Benjamin (Eds.)* Psychology Press Publ. 2010. pp. 107–132.
7. *Anderson M.C., Reinholz J., Kuhl B., Mayr U.* Intentional suppression of unwanted memories grows more difficult as we age // *Psychology and Aging*. 2011. V. 26. P. 397–405. doi: 10.1037/a0022505.
8. *Aslan A., Bauml K.-H.T.* Individual differences in working memory capacity predict retrieval-induced forgetting // *J Experimental Psychology Learning, Memory, and Cognition*. 2011. V. 37. No. 1. P. 264–269. doi: 10.1037/a0021324
9. *Baltes P.B., Staudinger U.M., Lindenberger U.* Life span psychology: Theory and application to intellectual functioning // *Annual Rev. Psychol.* 1999. V. 50. P. 471–507. doi: 10.1146/annurev.psych.50.1.471.
10. *Collette F., Schmidt C., Scherrer S.A., Salmon E.* Specificity of inhibitory deficits in normal aging and Alzheimer's disease // *Neurobiology of Aging*. 2009. V. 30. P. 875–889. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2007.09.007
11. *Cullum S., Huppert F.A., McGee M., Dening T., Ahmed A., Paykel E.S., Brayne C.* Decline across different domains of cognitive function in normal ageing: results of a longitudinal population-based study using CAMCOG // *Int. J. Geriatr. Psychiatr.* 2000. V. 15. P. 853–862.
12. *Darowski E.S., Helder E., Zacks R. T., Hasher L., Hambrick D. Z.* Age-related differences in cognition: the role of distraction control // *Neuropsychology*. 2008. V.22. P. 638–644. doi: 10.1037/0894-4105.22.5.638
13. *Dempster F.N., Corkill A.J.* Interference and inhibition in cognition and behavior: Unifying themes for educational psychology // *Educ. Psychol. Rev.* 1999. V. 11. P. 1–88. doi: 10.1023/A:1021992632168
14. *Depue B.E.* A neuroanatomical model of prefrontal inhibitory modulation of memory retrieval // *Neurosci Biobehav Rev.* 2012. V. 36. No. 5. P. 1382–1399. doi: 10.1016/j.neubiorev.2012.02.012
15. *Diamond A.* Executive functions // *Annu. Rev. Psychol.* 2013. V. 64. P. 35–68. doi: 10.1146/annurev-psych-113011-143750
16. *Fan J., McCandliss B.D., Sommer T., Raz A., Posner M.I.* Testing the efficiency and independence of attentional networks // *J. Cogn. Neurosci.* 2002. V. 14. No. 3. P. 340–347. doi: 10.1162/089892902317361886
17. *Friedman N.P., Miyake A.* Unity and diversity of executive functions Individual differences as a window on cognitive structure // *Cortex*. 2017. V.86. P. 186–204. doi: 10.1016/j.cortex.2016.04.023
18. *Hasher L., Stoltzfus E.R., Zacks R.T., Rypma B.* Age and inhibition // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 1991. V. 17. P. 163–169.
19. *Hasher L., Zacks R.T.* Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. In: *G.H. Bower (Ed.) The psychology of learning and motivation*. San Diego, CA: Academic Press. 1988. V. 22. P. 193–225.
20. *Hasher L., Zacks R. T., Rahhal T. A.* Timing, instructions, and inhibitory control: Some missing factors in the age and memory debate // *Gerontology*. 1999. V. 45. P. 355–357. doi: 10.1159/000022121
21. *Healey M.K., Hasher L., Campbell K.L.* The role of suppression in resolving interference: Evidence for an age-related deficit // *Psychology and Aging*. 2013. V. 28. No. 3. P. 721–728. doi: 10.1037/a0033003



22. Hülür G., Ram N., Willis S.L., Schaie K.W., Gerstorf D. Cognitive dedifferentiation with increasing age and proximity of death: Within-person evidence from the Seattle longitudinal study // *Psychol Aging*. 2015. V. 30. No. 2. P. 311–323. doi: 10.1037/a0039260.
23. Friedman N.P., Miyake A. Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure // *Cortex*, 2017. V. 86. P. 186–204. doi: 10.1016/j.cortex.2016.04.023
24. Germain S., Collette F. Dissociation of perceptual and motor inhibitory processes in young and elderly participants using the Simon task // *J. Int. Neuropsychol. Soc.* 2008. V. 14. P. 1014–1021. doi: 10.1017/S135561770808123X
25. Grégoire S., Rivalan M., Le Moine C., Dellu-Hagedorn F. The synergy of working memory and inhibitory control: Behavioral, pharmacological and neural functional evidences // *Neurobiology of Learning and Memory*. 2012. V. 97. P. 202–212. doi: 10.1016/j.nlm.2011.12.003
26. Karpicke J.D., Blunt J.R. Retrieval practice produces more learning than elaborative studying with concept mapping // *Science*. 2011. V. 331. P. 772–775. doi: 10.1126/science.1199327
27. Kuhl B.A., Kahn I., Dudukovic N.M., Wagner A.D. Overcoming suppression in order to remember: contributions from anterior cingulate and ventrolateral prefrontal cortex // *Cogn Affect Behav Neurosci*. 2008. V. 8. No. 2. P.211–221.
28. Luna B., Marek S., Larsen B., Tervo-Clemmens B., Chahal R. An integrative model of the maturation of cognitive control // *Annu. Rev. Neurosci.* 2015. V. 38. P. 151–170. doi: 10.1146/annurev-neuro-071714-034054
29. Lustig C., May C.P., Hasher L. Working memory and the role of proactive interference // *Journal of Experimental psychology. General*. 2001. V. 130. No. 2. P. 199–207. doi: 10.1037//0096-3445.130.2.199
30. Maxcey A. M., Woodman G. F. Forgetting induced by recognition of visual images // *Visual Cognition*. 2014. V. 22. P. 789–808.
31. Maxcey A.M., Bostic J., Maldonado T. Recognition practice results in a generalizable skill in older adults: Decreased intrusion errors to novel objects belonging to practiced categories // *Applied Cognitive Psychology*. 2016. V. 30. P. 643–649. doi: 10.1002/acp.3236
32. Miller L.J., Myers A, Prinzi L., Mittenberg W. Changes in intellectual functioning associated with normal aging // *Arch. Clin. Neuropsychol.* 2009. V. 24. No. 7. P. 681–688. doi: 10.1093/arclin/acp072
33. Murayama K., Miyatsu T., Buchli D., Storm B. C. Forgetting as a consequence of retrieval: A meta-analytic review of retrieval induced forgetting // *Psychological Bulletin*. 2014. V. 140. P. 1383–1409. doi: 10.1037/a0037505
34. Lustig C., Hasher L., Tonev S.T. Inhibitory control over the present and the past // *Europ. J. Cogn. Psychol.* 2001. V. 13. P. 107–122. doi: 10.1080/09541440126215
35. Maxcey A.M., Bostic J., Maldonado T. Recognition practice results in a generalizable skill in older adults: Decreased intrusion errors to novel objects belonging to practiced categories // *Applied Cognitive Psychology*. 2016. V. 30. P. 643–649. doi: 10.1002/acp.3236
36. Maxcey A.M., Woodman G.F. Forgetting induced by recognition of visual images // *Visual Cognition*. 2014. V. 22. P. 789–808.
37. Miller L.J., Myers A, Prinzi L., Mittenberg W. Changes in intellectual functioning associated with normal aging // *Arch. Clin. Neuropsychol.* 2009. V. 24. No. 7. P. 681–688. doi: 10.1093/arclin/acp072
38. Miyake A., Friedman N. The nature and organization of individual differences in executive functions: four general conclusions // *Curr. Dir. Psychol. Sci.* 2012. V.21. P. 8–14. doi: 10.1093/arclin/acp072
39. Moffitt T.E., Arseneault L., Belsky D., Dickson N., Hancox R.J., et al. A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2012. V. 108. P. 2693–2698. doi: 10.1073/pnas.1010076108
40. Murayama K., Miyatsu T., Buchli D., Storm B.C. Forgetting as a consequence of retrieval: a meta-analytic review of retrieval-induced forgetting // *Psychol Bull.* 2014. V. 140. No. 5. P. 1383–1409. doi: 10.1037/a0037505
41. Noreen S., MacLeod M.D. What do we really know about cognitive inhibition? Task demands and inhibitory effects across a range of memory and behavioral tasks // *PLoS ONE*. 2015. V. 10. P. 1–21. doi: 10.1371/journal.pone.0134951
42. Pastötter B., Bäuml K-H. Retrieval practice enhances new learning: the forward effect of testing // *Frontiers in psychology*. 2014. V. 5. No. 286. doi:10.3389/fpsyg.2014.00286



43. *Pastötter B., Schicker S., Niedermhuber J., Bäuml, K.-H.T.* Retrieval during learning facilitates subsequent memory encoding // *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.* 2011. V. 37. P. 287–297. doi:10.1037/a0021801.
44. *Razumnikova O., Savinykh M., Suslov R., Petrov R.* A computerized cognitive test battery. Individual differences in cognitive characteristics: Measuring and dynamic of training // *Proc. 11th Intern. Forum on Strategic Technology (IFOST)*. 2016. P. 256–258.
45. *Ribner A.D., Willoughby M.T., Blair C.B.* Executive function buffers the association between early math and later academic skills // *Front Psychol.* 2017. V. 8. No. 869. doi:10.3389/fpsyg.2017.00869
46. *Roediger H.L.III, Karpicke J.D.* The power of testing memory: basic research and implications for educational practice // *Perspect. Psychol. Sci.* 2006. V. 1. P. 181–210. doi: 10.1111/j.1745-6916.2006.00012.x
47. *Rowland C.A., Bates L.E., DeLosh E.L.* On the reliability of retrieval-induced forgetting // *Frontier in Psychology.* 2014. V. 5. No. 1343. doi:10.3389/fpsyg.2014.01343
48. *Rozas A.X., Juncos-Rabadán O., González M.S.* Processing speed, inhibitory control, and working memory: three important factors to account for age-related cognitive decline // *Int. J. Aging Hum. Dev.* 2008. V. 66. P. 115–130. doi: 10.2190/AG.66.2.b
49. *Salthouse T.A.* The processing-speed theory of adult age differences in cognition // *Psychol. Rev.* 1996. V. 103. P. 403–428.
50. *Sánchez-Pérez N, Castillo A, López-López JA, et al.* Computer-based training in math and working memory improves cognitive skills and academic achievement in primary school children: Behavioral results // *Frontiers in Psychology.* 2017. V. 8. No. 2327. doi: 10.3389/fpsyg.2017.02327
51. *Sleimen-Malkoun R., Temprado J.-J., Hong S.L.* Aging induced loss of complexity and dedifferentiation: consequences for coordination dynamics within and between brain, muscular and behavioral levels // *Frontiers in Aging Neuroscience.* 2014. V. 6. No. 140. doi:10.3389/fnagi.2014.00140.
52. *Spitzer B., Hanslmayr S., Opitz B., Mecklinger A., Bäuml KH.* Oscillatory correlates of retrieval-induced forgetting in recognition memory // *J Cogn Neurosci.* 2009. V. 21. No. 5. P. 976–990. doi: 10.1162/jocn.2009.21072.
53. *Sylvain-Roy S., Lungu O., Belleville S.* Normal aging of the attentional control functions that underlie working memory // *J. Gerontol. B Psychol. Sci. Soc. Sci.* 2015. V. 70. P. 698–708. doi: 10.1093/geronb/gbt166
54. *Williams R.S., Biel A.L., Wegier P., Lapp L.K., Dyson B.J., Spaniol J.* Age differences in the Attention Network Test: Evidence from behavior and event-related potentials // *Brain Cogn.* 2016. V. 102. P. 65–79. doi: 10.1016/j.bandc.2015.12.007
55. *Wimber M., Bäuml K.H., Bergström Z., Markopoulos G., Heinze H.J., Richardson-Klavehn A.* Neural markers of inhibition in human memory retrieval // *J Neurosci.* 2008. V. 28. No. 50. P. 13419–13427. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1916-08.2008.
56. *Zanto T.P., Toy B., Gazzaley A.* Delays in neural processing during working memory encoding in normal aging // *Neuropsychologia.* 2010. V.48. P. 13–25. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2009.08.003.
57. *Zhou S.S., Fan J., Lee T.M., Wang C.Q., Wang K.* Age-related differences in attentional networks of alerting and executive control in young, middle-aged, and older Chinese adults // *Brain Cogn.* 2011. V. 75. No. 2. P. 205–210. doi: 10.1016/j.bandc.2010.12.003