

Негативность, связанная с ошибкой: динамика нейрокогнитивного маркера чувствительности к несоответствию в решениях при психических расстройствах*

О. А. Сагалакова^а, Д. В. Труевцев, О. В. Жирнова, А. М. Сагалаков

Московский государственный психолого-педагогический университет,
Российская Федерация, 127051, Москва, ул. Сретенка, 29

Для цитирования: Сагалакова О. А., Труевцев Д. В., Жирнова О. В., Сагалаков А. М. Негативность, связанная с ошибкой: динамика нейрокогнитивного маркера чувствительности к несоответствию в решениях при психических расстройствах // Вестник Санкт-Петербургского университета. Психология. 2024. Т. 14. Вып. 3. С. 485–497. <https://doi.org/10.21638/spbu16.2024.305>

Анализируется трансформация методологических представлений о негативности, связанной с ошибкой (error-related negativity, ERN), как о значимом нейрокогнитивном маркере для уточнения механизмов развития и поддержания психических расстройств. Потенциал регистрируется в передней поясной коре головного мозга спустя 50–100 мс после совершения ошибки в конфликтных задачах и выступает нейрокогнитивным индикатором чувствительности к несоответствию в решениях. Обсуждается осмысление положений о системе мониторинга ошибок в зависимости от особенностей определения клинической группы, разных условий деятельности (ошибка другого или собственная, мотивационная значимость, установка на точность, неопределенность, осознанность ошибки и др.), а также индивидуально-типологических характеристик. Осмысливается значение системы мониторинга ошибок в контексте перехода от категориального к дименсиональному подходу к классификации психических расстройств, обсуждаются противоречия в данных. ERN рассматривается как паттерн модуляции спектра интернализации — экстернализации психопатологии, выступающего дименсиональной психопатологической моделью, частично преодолевающей проблемы коморбидности. На основе идеи об определении ERN как трансдиагностического электрофизиологического маркера психического здоровья и высоко коморбидных расстройств анализируется проблема сопоставления особенностей системы мониторинга ошибок при тревожных и психотических расстройствах. В исследованиях показано специфичное усиление ERN при тревожных расстройствах и ослабление при психозе, однако отдельные компоненты системы мониторинга ошибок при психотических расстройствах могут оставаться сохранными, а при определенных условиях обнаружение ошибки оказывается интактным. Качественные перестройки в системе мониторинга ошибок при психозе показывают более сложную психологическую структуру идентификации ошибки, нежели констатация снижения этой способности.

Ключевые слова: негативность, связанная с ошибкой (error-related negativity, ERN), нейрокогнитивный маркер тревожных расстройств, социальное тревожное расстройство,

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ, проект № 22-28-01310 «Патопсихологические механизмы и современные технологии вмешательства при слуховых галлюцинациях: роль социальной тревоги и воспринимаемого стыда в формировании негативного контента “голосов”», руководитель О. А. Сагалакова.

^а Автор для корреспонденции.

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2024

обсессивно-компульсивное расстройство, психотическое расстройство, система мониторинга ошибок, интернализирующие — экстернализирующие психические расстройства, димENSIONАЛЬНЫЙ ПОДХОД.

Введение

В современных нейрокогнитивных исследованиях наблюдается тенденция к поиску связей между условиями внешней среды, механизмами работы систем головного мозга и паттернами поведения. Понимание психических явлений основывается на системном осмыслении их психологических, социальных и биологических факторов и условий. В клинической психологии актуализировался интерес к нейропсихологическим коррелятам, трансдиагностическим маркерам и диагностическим индикаторам тяжести и дифференциации психопатологических состояний в рамках методологического обсуждения наблюдаемых феноменов.

Механизмы детекции ошибок лежат в основе корректировки поведения в социальных ситуациях, поэтому вопрос об эффективности мониторинга деятельности и чувствительности к несоответствию в решениях актуален для изучения адаптации. Мониторинг деятельности исследуется с помощью методов ЭЭГ, фМРТ, а также регистрации движений глаз. Электрический потенциал головного мозга ERN (error-related negativity — негативность, связанная с ошибкой) — один из электрофизиологических маркеров мониторинга ошибки, который изучается в нейрокогнитивных исследованиях, посвященных поиску биомаркеров предрасположенности к психическим расстройствам и чувствительности к психологическому вмешательству. Однако интегративное осмысление изменчивости ERN при различных психических расстройствах и условиях задач, в том числе в контексте вариативности других потенциалов, связанных с ошибкой, остается нерешенной проблемой. ERN — компонент связанного с событием потенциала (event-related potential, ERP), отражающий работу большого количества нейронов, нейронных ансамблей коры и их связей с подкорковыми структурами, регистрируется спустя 50–100 мс после совершения ошибки при выполнении конфликтных задач (Gehring et al., 1993). ERN является потенциалом, связанным с обработкой ошибочного решения, компонентом системы мониторинга ошибок (СМО). Часть исследователей используют термин «медиальная фронтальная негативность» (medial frontal negativity, MFN). Медиальная префронтальная кора (МПФК) генерирует несколько компонентов ERP, воплощающих контроль выполнения работы, — ERN, NoGo N200 (негативная волна, генерируемая в ответ на NoGo-стимулы, требующие подавления ответа) и FRN (feedback-related negativity — негативность, связанная с обратной связью). Области МПФК последовательно вовлекаются в качестве нейронных генераторов всех трех компонентов (van Noordt, Segalowitz, 2012).

Механизм работы мозга, связанный с мониторингом ошибки, как предмет исследований

Экспериментальное изучение процесса мониторинга ошибок и разработка психологических теорий о его роли в решении задач начались около трех десятилетий назад в трудах нескольких исследовательских групп. В ранних работах ак-

цент ставился на выявлении типа когнитивных задач и инструкций, приводящих к активации этого мониторинга. Две группы ученых во главе с В. Дж. Герингом (W.J. Gehring) (Gehring et al., 1993) и Д. Мейером (D. Meyer) (Meyer et al., 1988) изучали мониторинг в рамках ментальной хронометрии и рассматривали процессы передачи информации от момента восприятия стимула до моторного ответа. Геринг и его соавторы сосредоточились в экспериментах на фланговой задаче Эриксонов как на эталонной парадигме, так как в данной задаче представлены неконгруэнтные стимулы, вызывающие конфликт между верными и неверными решениями. Д. Мейер и соавторы использовали метод декомпозиции скорости и точности, позволяющий выявить как особенности временного распределения процесса решения, так и точность ответов на разных этапах обработки информации (Meyer et al., 1988). Название обсуждаемому в нашей статье компоненту было дано в 1990 г., практически одновременно, двумя исследовательскими группами (Геринга с соавторами и М. Фалькенштейна (M. Falkenstein) с соавторами). Исследователи под руководством М. Фалькенштейна обнаружили лобно-центральную негативность (fronto-central negativity, Ne), а также установили, что после слуховой стимуляции в условиях распределения внимания Ne актуализировался позднее, чем при сфокусированном внимании. Ne квалифицировался как маркер завершения выбора ответа, а разделение внимания — как явление, связанное с изменением этого выбора (Falkenstein et al., 1990).

ERN увеличивается в инструкциях:

- 1) подчеркивающих точность, а не скорость ответной реакции;
- 2) повышающих мотивационную значимость ошибок, что типично при растройствах, связанных с тревогой (Gehring et al., 2018).

Рост ERN наблюдается в задачах, содержащих неопределенность (Riesel et al., 2019).

Наряду с теорией, определяющей ERN как компонент СМО, сформулирована концепция мониторинга конфликта как функции передней поясной коры (Carter et al., 1998). В одной из конкурирующих гипотез подчеркивалось сходство активности СМО и роли дофамина в обучении с подкреплением, что запустило волну исследований, направленных на изучение FRN, а также ERN-подобного отклонения, наблюдающегося после внешней перцептивно значимой обратной связи об ошибках и утрате вознаграждения. Предполагалась связь ERN не только с обнаружением ошибок, но и с компенсацией неверных решений, однако однозначных данных не получено (Gehring et al., 2018).

СМО на современном этапе развития нейрокогнитивных наук: ERN в контексте дименсионального подхода

Методологическая интерпретация СМО и ее компонентов далека от непротиворечивого понимания стоящих за ними феноменов психики. Современное изучение этого феномена невозможно без обращения к последним тенденциям наук о психическом здоровье. Обсуждается пересмотр категориальной классификации психических расстройств, внутри которой обозначаются границы нарушений по наблюдаемым группам симптомов, а коморбидность расстройств рассматривается как шум, вносящий интерференцию в диагностику чистой болезни. У 50–60 % людей

с психическим расстройством на протяжении жизни возникают сопутствующие нарушения, а в случаях тревожных и панических расстройств риск коморбидности достигает 90% (Clark, Wells, 1995). В ответ на ограничения данного подхода, нашедшего отражение и в последних версиях DSM (Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders) и МКБ (Международная классификация болезней), Национальный институт психического здоровья (National Institute of Mental Health) предлагает альтернативу: дименсиональный (количественный) подход, развиваемый в рамках проекта Research Domain Criteria (RDoC), цель которого заключается в обнаружении и квалификации нейробиологических основ расстройств. Дименсии (измерения) представляют собой ось выраженности психического признака. Если в категориальном подходе норма и патология — независимые состояния, то в дименсиональном между ними стираются границы, анализ проводится в общем континууме. Коморбидность мыслится уже как сигнал (Krueger, Eaton, 2015), свидетельствующий о необходимости изучить процесс и многомерную структуру феномена, а также определить латентные переменные в генезе симптомов.

Положения RDoC пересекаются с культурно-исторической психологией, обеспечивающей понимание генеза высших психических функций (ВПФ). Механизмы психической деятельности едины в норме и при патологии. По мысли Б. В. Зейгарник, болезнь — условие, в котором психика продолжает функционировать, проявляясь в разных измерениях (Сагалакова и др., 2021). Осмысление нейрокогнитивного аспекта психики не может основываться на прямых причинно-следственных связях между нейронными коррелятами и психическими феноменами. Теория системной динамической локализации ВПФ А. Р. Лурии проливает свет на проблему взаимосвязи мозговой активности и особенностей психики.

В рамках RDoC предполагается, что измененная обработка ошибок — трансдиагностический феномен, выступающий как биомаркер, но не причина и не следствие психических нарушений. ERN представляет паттерн модуляции спектра интернализации — экстернализации, выступающего многомерной моделью психических нарушений (Krueger, Eaton, 2015). Социальное тревожное расстройство (СТР), иные связанные с тревогой расстройства, обсессивно-компульсивное расстройство (ОКР), депрессивные расстройства сопряжены с аспектом интернализации (повышенная ERN, гиперактивность СМО), экстернализация же обобщает скрытые факторы импульсивного поведения, антисоциального расстройства личности, зависимостей (пониженная ERN).

ERN как потенциальный нейрокогнитивный трансдиагностический маркер связанных с тревогой расстройств

Историческая траектория изучения ERN характеризуется переходом от исследования потенциала в норме к его изучению при психических расстройствах, в генезе которых важную роль играет тревога. Повышенная амплитуда ERN обнаружена при ОКР, оказывается неизменной после когнитивно-бихевиорального и фармакологического вмешательства, наблюдается у представителей первой степени родства пациентов, указывая на ERN как показатель эндофенотипа (Riesel et al., 2019). Функциональное значение повышения амплитуды ERN отражает степень оценивания ошибки как угрожающей, поэтому ERN сопряжена с компенсаторной

деятельностью, направленной на связанные с беспокойством когнитивные искажения (Сагалакова и др., 2016).

В когнитивной модели СТР (Clark, Wells, 1995) подчеркивается значимость процессов самосфокусированного внимания, показаны трансдиагностичность избыточной СМО и специфичность в отношении симптомов ОКР. Увеличение ERN отмечается у близких родственников пациентов с СТР, а величина потенциала характеризуется резистентностью к вмешательству (Carrasco et al., 2013) — лечение приводит к развитию компенсаторных процессов адаптации к гиперактивной СМО, а не к ее нормализации. Итак, чрезмерный мониторинг деятельности — эндофенотип расстройств, связанных с тревогой, а ERN — электрофизиологический коррелят тревоги.

Характеристики темперамента, отражающие поведенческое торможение в раннем возрасте, предсказывают позднюю гиперчувствительность к ошибкам, однако полученная связь зависима от социального контекста (Buzzell et al., 2017). Обнаруживается корреляция между ERN, социальной тревогой (СТ) и социальным контекстом — потенциал в условиях социального наблюдения увеличивается при выполнении задач при высокой, но не низкой СТ (Barker et al., 2015). Встречаются и иные данные: ERN увеличивается при социальном наблюдении независимо от фактора группы (Voegler et al., 2018).

В теории контроля внимания (Eysenck et al., 2023) обсуждаются механизмы тревоги, связанные с нарушением управляющих функций, что опосредовано взаимодействием между системами внимания, обеспечиваемыми коннективностью функциональных сетей мозга. Наблюдается двунаправленное влияние: беспокойства на контроль внимания и, далее, контроля внимания на поддержание спокойства. Подчеркивается противоречие между сохраняющейся точностью выполнения задач (Performance Effectiveness) из-за усиления концентрации и менее эффективной текущей обработкой информации (Processing Efficiency). При СТР бдительность в отношении социальной угрозы вызывает переработку внутренне сгенерированной информации, изначально нацеленную на контроль поведения, что в итоге приводит к обратному — усилению напряжения СМО. В функциональный процесс «цель — результат», по П. К. Анохину, вторгается избыточный мониторинг решений. Метакогнитивные особенности, характерные для работы СМО в контексте самоусиливающегося тревожного цикла, укладываются в патопсихологическую модель СТР (Сагалакова и др., 2016).

ERN и Ре при расстройствах психотического спектра: стадийность нейрокогнитивного дефицита

Пациенты с параноидной шизофренией на фоне сохранности поведенческих характеристик контроля деятельности продемонстрировали снижение ERN, что запустило волну исследований самомониторинга при расстройствах психотического спектра с применением ЭЭГ и функциональной нейровизуализации (Storchak et al., 2021). Определено снижение ERN при выполнении широкого круга задач при шизофрении, это говорит в пользу нарушения мониторинга на ранних этапах обработки ошибок (Kahn, Keefe, 2013). Уменьшение ERN наблюдается при высоком риске шизофрении, отдельные искажения мониторинга деятельности — у здоровых сиблингов пациентов

с шизофренией, поэтому нарушение — не результат заболевания или фармакологического лечения, но маркер предрасположенности, эндофенотип (Levinson et al., 2023). Мониторинг неосознанных ошибок при синдроме ослабленного психоза может помочь осознать нереальность необычных переживаний (Xu et al., 2024).

Если снижение ERN при шизофрении не вызывает сомнений, то уменьшение амплитуды Pe (error positivity, положительный потенциал — связанная с ошибкой положительность) зафиксировано лишь в некоторых работах. Результаты экспериментов, основанных на предположении, что Pe сопряжена с осознанием ошибок и уверенностью в принятии решений (Kirschner, Klein, 2022), осторожно указывают на изменение метакогнитивного мониторинга деятельности, что согласуется с гипотезой о дефиците сознательного контроля сверху вниз (conscious top-down deficits).

Пациенты с шизофренией при сохранной ERN реже подвергаются повторной госпитализации и отличаются более высоким социальным функционированием (Kahn, Keefe, 2013). Ослабление ERN и Pe в данной выборке — стабильное свойство в долгосрочной перспективе. Обсуждается относительная интактность FRN при решении простых задач с обратной связью. В остром состоянии отмечается ослабление FRN — нарастает нарушение обработки обратной связи, нормализующееся при лечении (Llerena et al., 2016).

Посредством измерения ERN в основном исследуются внутренние процессы мониторинга, ответственные за обнаружение собственных ошибок, а мониторинг действий других, в том числе наблюдение за их ошибками, изучается в единичных случаях, хотя он играет важную роль в социальном взаимодействии. При шизофрении выполнение индивидуальной и социальной задач Саймона сопровождается снижением ERN и увеличением CRN (негативность, связанная с правильным ответом; correct-related negativity). Амплитуды observed ERN (oERN — ERN-подобный компонент, возникающий в условиях наблюдения за ошибками другого) не различаются между выборками, следовательно при шизофрении на фоне нарушения самоконтроля отмечается сохранность мониторинга действий других (Asuncion et al., 2015). Нарушение чувства агентности проявляется в искажении метакогнитивной способности выступать осознанным субъектом поведения, но не нарушает возможность обнаруживать ошибку как таковую (Сагалакова и др., 2023).

Различие в ERN и oERN при психозе проявляет общую сохранность способности к детекции ошибок, но в то же время демонстрирует качественное своеобразие структуры СМО, связанное с затруднением отнесения источника ошибки к себе. В эксперименте Т. А. Климушевой показана динамика симптомов синдрома психического автоматизма, усиливающихся при решении задач, требующих интеллектуального напряжения, в которых ошибки заметны самим пациентам (Климушева, 1965). Вызывая дистресс, ошибки интерпретируются как результат вызванных извне помех. Неуспех усиливает отчуждение, приводя к замедлению, смещению на выполнение более безопасной деятельности, что на нейрокогнитивном уровне проявляется в снижении ERN, а во внешнем поведении — в потере интереса к задаче (Сагалакова и др., 2023).

При шизотипии имеются схожие с шизофренией нейрокогнитивные нарушения, включая своеобразные речевые модели. При изучении особенностей отслеживания вербальных реакций с помощью парадигмы мониторинга фонем «Go/No-Go» (Zou et al., 2014) при шизотипии обнаружены нормальная амплитуда ERN,

но повышенная *Pe* по сравнению с контрольной группой, следовательно способность обнаруживать ошибки не нарушена, однако отмечаются особенности их дальнейшей оценки. Происходит нарастание дефицита мониторинга собственных ошибок — от стадии отдельных психотических переживаний, переживаний, схожих с психотическими, где ошибка замечается, но изменена ее эмоциональная оценка и поведение в постошибочный период, до стадии высоты психоза, где нарушен общий процесс самомониторинга.

Нерешенные вопросы и перспективы новых исследований в свете проблемы особенностей нейрокогнитивных нарушений при расстройствах тревожного и психотического спектров

Наряду с обширной исследовательской базой, касающейся величины амплитуды ERN при решении когнитивных задач, обозначается ряд проблем, ограничивающих обобщение и квалификацию данных. Одной из общих для нейрокогнитивных исследований проблем выступает биологическое упрощение при анализе связей поведенческих характеристик с индикаторами мозговой активности, выпячивание роли нейробиологических основ в ущерб пониманию системных закономерностей психики. С опорой на культурно-историческую психологию подчеркивается опосредованное влияние социальных явлений на динамику архитектоники головного мозга (Холмогорова, 2015).

Неясно, является ли ERN одиночным пиком или компонентом продолжающейся серии колебаний. Исследуются и другие событийные потенциалы, связанные с ответной реакцией (ERP), например ERN-подобная активность, или CRN, которая актуализируется при верных решениях. Не установлено, отражают ли CRN и ERN общий нейронный процесс, а также с чем связано, что CRN возникает в одних задачах, а в других не обнаруживается.

Одной из перспектив изучения ERN выступает возможность точной диагностики, профилактики рисков усиления симптомов, вторичных последствий напряженной СМО в виде антивитального и суицидального поведения как способа прекращения изнуряющего цикла обработки ошибок (Сагалакова и др., 2016). Нечувствительность СМО к терапии интерпретируется в пользу констатации эндофенотипа. Терапия, по всей видимости, оказывает влияние на аспекты состояния, не затрагивая СМО, а ослабление симптомов достигается за счет нисходящего контроля над поведением. Сохранение повышенной амплитуды ERN сигнализирует о риске рецидива, поэтому актуальна разработка вмешательств, направленных на снижение избыточности СМО (Eysenck et al., 2023). Attentional bias modification (ABM) training — тренинг модификации искажений внимания — один из перспективных подходов к вмешательству с целью модуляции как ERN, так и симптомов тревожных расстройств. Обсуждаются различия дисфункции внутреннего мониторинга по сравнению с условием обратной связи в контексте терапевтической динамики СМО (Llerena et al., 2016).

Остается неочевидным, является ли уменьшение ERN результатом метакогнитивной невидимости ошибки для пациента, измененного отношения к ошибке, сензитивности к негативным эмоциям на травмирующий стимул (неуспех), нарушения идентификации Я-источника ошибки или недостатка условий задачи.

Уменьшение ERN при шизофрении слабо модулируется вознаграждением; общий масштаб снижения ERN при психозе еще предстоит определить (Chidharom et al., 2021), однако на фоне ангедонии отмечается сохранность отдельных гедонистических реакций. Так, пациенты сообщают о нормальном уровне удовольствия здесь-и-сейчас, демонстрируют интактные реакции на приятные и полезные стимулы (Barch, Sheffield, 2017).

При шизофрении обнаруживаются нарушения мышления, дефицит навыков научения и принятия решений, что негативно сказывается на целенаправленности, реакциях при стимулировании и обратной связи. Особенности протекания мониторинга деятельности зависят не только от задачи, но и от индивидуальных особенностей, а также от взаимодействия характера, темперамента и условий задачи, при этом типологические особенности модулируют различия в ERN при психозе (van Noordt, Segalowitz, 2012).

Применение дименсиональной логики не позволило однозначно определить трансдиагностические проявления СМО и зафиксировать непротиворечивую связь между ERN и расстройствами (Seow et al., 2020). Обнаружены незначительные ассоциации между тремя трансдиагностическими дименсиями (тревожно-депрессивные симптомы, компульсивное поведение и навязчивые мысли, социальная отгороженность) и величиной ERN, а также связь между целенаправленным обучением и ОК-симптомами. Дименсиональная модель интернализирующе-экстернализующего спектра обеспечивает лишь некоторую прозрачность данных в отношении ERN (Pasion, Barbosa, 2019). Наряду с ожиданием непротиворечивой картины повышенной и пониженной реактивности СМО, которая если и воспроизводится, то со значительными оговорками, важно понимать, что диагностические категории тесно взаимосвязаны, и как минимум часть разногласий объясняется неучтенными факторами. Ассоциации с ERN могут проявляться при значительной тяжести симптомов (Seow et al., 2020), поэтому следует учитывать несколько нейрокогнитивных коррелятов СМО для прояснения специфики мониторинга деятельности. Методологическое осмысление эмпирической связи компонент СМО с симптомами расстройств позволит определить общие и специфичные изменения в СМО при нарушениях психики (Сагалакова и др., 2023).

Заключение

ERN — компонент СМО, которая отслеживает и уменьшает неадаптивные ответы. Характерен методологический сдвиг в осмыслении ERN, заключающийся в переходе к альтернативной концепции понимания потенциала: от электрофизиологического индикатора чувствительности к ошибке к несоответствию в решениях. Логика развития представлений о СМО и ERN говорит о сохраняющемся интересе к нейрокогнитивным процессам, связанным с обработкой ошибки, смещении траектории исследований в сторону нарушений психики.

Согласно проекту RDoC, ERN представляет паттерн модуляции спектра интернализации — экстернализации психических нарушений как многомерной модели, преодолевающей проблемы коморбидности. Интерпретация динамики составляющих СМО, базируясь на эмпирической реальности нейрокогнитивных изменений, обеспечивает определенный прогресс, но не позволяет однозначно определить связи

между симптомами и ERN из-за дефицита базисной методологии. Ограничивающая исследования оппозиция — усиление ERN при тревожных и снижение при психотических расстройствах — может быть преодолена посредством опоры на методологию культурно-исторического подхода с учетом междисциплинарности проблемы.

Литература

- Климушева Т. А. Клинико-психологические исследования больных параноидной формой шизофрении с синдромом Кандинского — Клерамбо // Вопросы экспериментальной патопсихологии / под ред. Б. В. Зейгарник, С. Я. Рубинштейн. М.: НИИ психиатрии, 1965. С. 117–128.
- Сагалакова О. А., Труевцев Д. В., Жирнова О. В. Негативность, связанная с ошибкой: нейрокогнитивный трансагностический маркер тревожных расстройств // Неврологический вестник. 2021. Т. 53, № 1. С. 80–83. <https://doi.org/10.17816/nb58800>
- Сагалакова О. А., Труевцев Д. В., Жирнова О. В., Тиников А. В. Эффект социальной тревоги и стыда в развитии голосов: метакогнитивная обработка неблагоприятного опыта отношений и бдительность к социальным угрозам // Клиническая и специальная психология. 2023. Т. 12, № 2. С. 25–53. <https://doi.org/10.17759/cpse.2023120202>
- Сагалакова О. А., Труевцев Д. В., Сагалаков А. М. Нарушение когнитивной регуляции социальной тревоги при антивитальном поведении. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2016.
- Холмогорова А. Б. Роль идей Л. С. Выготского для становления парадигмы социального познания в современной психологии: обзор зарубежных исследований и обсуждение перспектив // Культурно-историческая психология. 2015. Т. 11, № 3. С. 25–43. <https://doi.org/10.17759/chp.2015110304>
- Asuncion de la J., Docx L., Morrens M., Sabbe B., de Bruijn E. R. A. Neurophysiological evidence for diminished monitoring of own, but intact monitoring of other's errors in schizophrenia // Psychiatry Research. 2015. Vol. 230, no. 2. P. 220–226. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2015.08.043>
- Barch D. M., Sheffield J. M. Cognitive control in schizophrenia: Psychological and neural mechanisms // T. Egner (ed.). The Wiley Handbook of Cognitive Control. Hoboken: Wiley Blackwell, 2017. P. 556–580. <https://doi.org/10.1002/9781118920497.ch31>
- Barker T. V., Troller-Renfree S., Pine D. S., Fox N. A. Individual differences in social anxiety affect the salience of errors in social contexts // Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience. 2015. Vol. 15, no. 4. P. 723–735. <https://doi.org/10.3758/s13415-015-0360-9>
- Buzzell G. A., Troller-Renfree S. V., Barker T. V., Bowman L. C., Chronis-Tuscano A., Henderson H. A., Kagan J., Pine D. S., Fox N. A. A neurobehavioral mechanism linking behaviorally inhibited temperament and later adolescent social anxiety // Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry. 2017. Vol. 56, no. 12. P. 1097–1105. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2017.10.007>
- Carrasco M., Harbin S. M., Nienhuis J. K., Fitzgerald K. D., Gehring W. J., Hanna G. L. Increased error-related brain activity in youth with obsessive — compulsive disorder and unaffected siblings // Depression and Anxiety. 2013. Vol. 30, no. 1. P. 39–46. <https://doi.org/10.1002/da.22035>
- Carter C. S., Braver T. S., Barch D. M., Botvinick M. M., Noll D., Cohen J. D. Anterior cingulate cortex, error detection, and the online monitoring of performance // Science. 1998. Vol. 280, no. 5364. P. 747–749. <https://doi.org/10.1126/science.280.5364.747>
- Chidharom M., Krieg J., Bonnefond A. Impaired frontal midline theta during periods of high reaction time variability in schizophrenia // Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging. 2021. Vol. 6, no. 4. P. 429–438. <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2020.10.005>
- Clark D., Wells A. A cognitive model of social phobia // R. G. Heimberg, M. R. Liebowitz, D. A. Hope, F. R. Schneier (eds). Social phobia: Diagnosis, assessment and treatment. New York: Guilford Press, 1995. P. 69–93.
- Eysenck M. W., Moser J. S., Derakshan N., Hepsomali P., Allen P. A neurocognitive account of attentional control theory: How does trait anxiety affect the brain's attentional networks? // Cognition and Emotion. 2023. Vol. 37, no. 2. P. 220–237. <https://doi.org/10.1080/02699931.2022.2159936>
- Falkenstein M., Hohnsbein J., Hoormann J. Effects of errors in choice reaction tasks on the ERP under focused and divided attention // C. H. M. Brunia, A. W. K. Gaillard, A. Kok (eds). Psychophysiological Brain Research. Vol. 1. Tilburg: Tilburg University Press, 1990. P. 192–195.

- Gehring W.J., Goss B., Coles M. G. H., Meyer D. E., Donchin E. Neural system for error detection and compensation // *Psychological Science*. 1993. Vol. 4, no. 6. P. 385–390. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1993.tb00586.x>
- Gehring W.J., Goss B., Coles M. G. H., Meyer D. E., Donchin E. The error-related negativity // *Perspectives on Psychological Science*. 2018. Vol. 13, no. 2. P. 200–204. <https://doi.org/10.1177/1745691617715310>
- Kahn R. S., Keefe R. S. E. Schizophrenia is a cognitive illness // *JAMA Psychiatry*. 2013. Vol. 70, no. 10. P. 1107–1112. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2013.155>
- Kirschner H., Klein T. A. Beyond a blunted ERN — biobehavioral correlates of performance monitoring in schizophrenia // *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2022. Vol. 133. Article 104504. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.12.027>
- Krueger R. F., Eaton N. R. Transdiagnostic factors of mental disorders // *World Psychiatry*. 2015. Vol. 14, no. 1. P. 27–29. <https://doi.org/10.1002/wps.20175>
- Levinson T., Prettyman G., Savage C., White L., Moore T. M., Calkins M. E., Ruparel K., Gur R. E., Gur R. C., Satterthwaite T. D., Wolf D. H. Activation of internal correctness monitoring circuitry in youths with psychosis spectrum symptoms // *Biological Psychiatry Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*. 2023. Vol. 8, no. 1. P. 542–550. <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2023.01.010>
- Llerena K., Wynn J. K., Hajcak G., Green M. F., Horan W. P. Patterns and reliability of EEG during error monitoring for internal versus external feedback in schizophrenia // *International Journal of Psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology*. 2016. Vol. 105. P. 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.04.012>
- Meyer D. E., Osman A. M., Irwin D. E., Yantis S. Modern mental chronometry // *Biological Psychology*. 1988. Vol. 26, no. 1-3. P. 3–67. [https://doi.org/10.1016/0301-0511\(88\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0301-0511(88)90013-0)
- National Institute of Mental Health. Research Domain Criteria (RDoC). URL: <https://www.nimh.nih.gov/research/research-funded-by-nimh/rdoc> (дата обращения: 10.09.2023).
- van Noordt S. J. R., Segalowitz S. J. Performance monitoring and the medial prefrontal cortex: A review of individual differences and context effects as a window on self-regulation // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2012. Vol. 6, art. 197. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00197>
- Pasion R., Barbosa F. ERN as a transdiagnostic marker of the internalizing-externalizing spectrum: A dissociable meta-analytic effect // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2019. Vol. 103. P. 133–149. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.06.013>
- Riesel A., Klawohn J., Grutzmann R., Kaufmann C., Heinzl S., Bey K., Lennertz L., Wagner M., Kathmann N. Error-related brain activity as a transdiagnostic endophenotype for obsessive-compulsive disorder, anxiety and substance use disorder // *Psychological Medicine*. 2019. Vol. 49, no. 7. P. 1207–1217. <https://doi.org/10.1017/S0033291719000199>
- Seow T. X. F., Benoit E., Dempsey C., Jennings M., Maxwell A., McDonough M., Gillan C. M. A dimensional investigation of error-related negativity (ERN) and self-reported psychiatric symptoms // *International Journal of Psychophysiology*. 2020. Vol. 158. P. 340–348. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.09.019>
- Storchak H., Ehrlis A. C., Fallgatter A. J. Action-monitoring alterations as indicators of predictive deficits in schizophrenia // *Topics in Cognitive Science*. 2021. Vol. 13, no. 1. P. 142–163. <https://doi.org/10.1111/tops.12495>
- Voegler R., Peterburs J., Lemke H., Ocklenburg S., Liepelt R., Straube T. Electrophysiological correlates of performance monitoring under social observation in patients with social anxiety disorder and healthy controls // *Biological Psychology*. 2018. Vol. 132. P. 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2017.11.003>
- Xu L. H., Zhu T. Yu., Tang Yi. Yi., Tang X. C., Qian Z. Yi., Wei Ya. Ya., Cui H. R., Hu Ye. G., Zhang D., Wang Yi. C., Zhu J. J., Li H., Liu X. H., Zhang T. H., Hong X. F., Wang J. J. Impaired insight and error-monitoring deficits among outpatients with attenuated psychosis syndrome and first-episode psychosis // *Journal of Psychiatric Research*. 2024. Vol. 170. P. 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2023.12.007>
- Zou L.-Q., Wang K., Qu C., Lui S. S. Y., Shum D. H. K., Cheung E. F. C., Chan R. C. K. Verbal self-monitoring in individuals with schizotypal personality traits: An exploratory ERP study // *Asian Journal of Psychiatry*. 2014. Vol. 11. P. 53–58. <https://doi.org/10.1016/j.ajp.2014.06.004>

Статья поступила в редакцию 26 октября 2023 г.;
рекомендована к печати 23 мая 2024 г.

Контактная информация:

Сагалакова Ольга Анатольевна — канд. психол. наук, ст. науч. сотрудник лаборатории экспериментальной патопсихологии; <https://orcid.org/0000-0001-9975-1952>, olgasagalakova@mail.ru
Труевцев Дмитрий Владимирович — канд. психол. наук, ст. науч. сотрудник лаборатории экспериментальной патопсихологии; <https://orcid.org/0000-0003-4246-2759>, truevtsev@gmail.com
Жирнова Ольга Владимировна — мл. науч. сотрудник лаборатории экспериментальной патопсихологии; <https://orcid.org/0000-0002-6680-8286>, olga.zhirnova.2015@mail.ru
Сагалаков Анатолий Михайлович (1946–2023) — д-р физ.-мат. наук, проф.; <https://orcid.org/0000-0001-7641-9025>

Error-related negativity: Dynamics of a neurocognitive marker of sensitivity to inconsistency in decisions in mental disorders*

O. A. Sagalakova^a, D. V. Truevtsev, O. V. Zhirnova, A. M. Sagalakov[†]

Moscow State University of Psychology and Education,
29, ul. Sretenka, Moscow, 127051, Russian Federation

For citation: Sagalakova O. A., Truevtsev D. V., Zhirnova O. V., Sagalakov A. M. Error-related negativity: Dynamics of a neurocognitive marker of sensitivity to inconsistency in decisions in mental disorders. *Vestnik of Saint Petersburg University. Psychology*, 2024, vol. 14, issue 3, pp. 485–497. <https://doi.org/10.21638/spbu16.2024.305> (In Russian)

The transformation of methodological ideas about ERN as a significant neurocognitive marker for clarifying the mechanisms of development and maintenance of mental disorders are analyzed. The potential is registered in the anterior cingulate cortex 50–100 ms after making an error in the conflict task and acts as a neurocognitive indicator of sensitivity to decision mismatches. Comprehension of the provisions on the error monitoring system is discussed depending on the peculiarities of the clinical group definition, different conditions of activity (error of another or one's own, motivational significance, attitude to accuracy, uncertainty, awareness of the error and other), as well as individual-typological characteristics. The significance of the error monitoring system in the context of the transition from a categorical to a dimensional approach to the classification of mental disorders is conceptualized, and inconsistencies in the data are discussed. ERN is considered as a modulation pattern of the internalisation-externalisation spectrum of psychopathology, acting as a dimensional psychopathological model that partially overcomes the problems of comorbidity. Based on the idea of defining ERN as a transdiagnostic electrophysiological marker of mental health, highly comorbid disorders, the problem of comparing the features of the error monitoring system in anxiety and psychotic disorders is analyzed. Studies show specific strengthening of the ERN in anxiety disorders and weakening in psychosis, but some components of the ERN in psychotic disorders may remain preserved, and under certain conditions of activity, error detection is intact. The qualitative rearrangements in the error monitoring system in psychosis reveal a more complex psychological structure of error identification than the observation of a decline in this ability.

Keywords: error-related negativity (ERN), neurocognitive marker of anxiety disorders, social anxiety disorder, obsessive-compulsive disorder, psychotic disorder, error monitoring system, internalizing — externalizing mental disorders, a dimensional approach.

* The study was funded by the Russian Science Foundation, project no. 22-28-01310 “Pathopsychological mechanisms and modern technologies of intervention in auditory hallucinations: The role of social anxiety and perceived shame in the formation of negative content of ‘voices’”.

^a Author for correspondence.

Reference

- Asuncion, de la J., Docx, L., Morrens, M., Sabbe, B., de Bruijn, E. R. A. (2015). Neurophysiological evidence for diminished monitoring of own, but intact monitoring of other's errors in schizophrenia. *Psychiatry Research*, 230 (2), 220–226. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2015.08.043>
- Barch, D. M., Sheffield, J. M. (2017). Cognitive control in schizophrenia: Psychological and neural mechanisms. In: T. Egner (ed.). *The Wiley Handbook of Cognitive Control*. Hoboken, Wiley Blackwell, 556–580. <https://doi.org/10.1002/9781118920497.ch31>
- Barker, T. V., Troller-Renfree, S., Pine, D. S., Fox, N. A. (2015). Individual differences in social anxiety affect the salience of errors in social contexts. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 15 (4), 723–735. <https://doi.org/10.3758/s13415-015-0360-9>
- Buzzell, G. A., Troller-Renfree, S. V., Barker, T. V., Bowman, L. C., Chronis-Tuscano, A., Henderson, H. A., Kagan, J., Pine, D. S., Fox, N. A. (2017). A neurobehavioral mechanism linking behaviorally inhibited temperament and later adolescent social anxiety. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 56 (12), 1097–1105. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2017.10.007>
- Carrasco, M., Harbin, S. M., Nienhuis, J. K., Fitzgerald, K. D., Gehring, W. J., Hanna, G. L. (2013). Increased error-related brain activity in youth with obsessive — compulsive disorder and unaffected siblings. *Depression and Anxiety*, 30 (1), 39–46. <https://doi.org/10.1002/da.22035>
- Carter, C. S., Braver, T. S., Barch, D. M., Botvinick, M. M., Noll, D., Cohen, J. D. (1998). Anterior cingulate cortex, error detection, and the online monitoring of performance. *Science*, 280 (5364), 747–749. <https://doi.org/10.1126/science.280.5364.747>
- Chidharom, M., Krieg, J., Bonnefond, A. (2021). Impaired frontal midline theta during periods of high reaction time variability in schizophrenia. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, 6 (4), 429–438. <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2020.10.005>
- Clark, D., Wells, A. (1995). A cognitive model of social phobia. In: R. G. Heimberg, M. R. Liebowitz, D. A. Hope, F. R. Schneier (eds). *Social Phobia: Diagnosis, assessment and treatment* (pp. 69–93). New York, Guilford Press.
- Eysenck, M. W., Moser, J. S., Derakshan, N., Hepsomali, P., Allen, P. (2023). A neurocognitive account of attentional control theory: How does trait anxiety affect the brain's attentional networks? *Cognition and Emotion*, 37 (2), 220–237. <https://doi.org/10.1080/02699931.2022.2159936>
- Falkenstein, M., Hohnsbein, J., Hoormann, J. (1990). Effects of errors in choice reaction tasks on the ERP under focused and divided attention. In: C. H. M. Brunia, A. W. K. Gaillard, A. Kok (eds). *Psychophysiological Brain Research*, vol. 1 (pp. 192–195). Tilburg, Tilburg University Press.
- Gehring, W. J., Goss, B., Coles, M. G. H., Meyer, D. E., Donchin, E. (1993). Neural system for error detection and compensation. *Psychological Science*, 4 (6), 385–390. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1993.tb00586.x>
- Gehring, W. J., Goss, B., Coles, M. G. H., Meyer, D. E., Donchin, E. (2018). The error-related negativity. *Perspectives on Psychological Science*, 13 (2), 200–204. <https://doi.org/10.1177/1745691617715310>
- Kahn, R. S., Keefe, R. S. E. (2013). Schizophrenia Is a Cognitive Illness. *JAMA Psychiatry*, 70 (10), 1107–1112. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2013.155>
- Kholmogorova, A. B. (2015). The role of L. S. Vygotsky's ideas in the development of social cognition paradigm in modern psychology: A review of foreign research and discussion on perspectives. *Kul'turno-tsoricheskaja psikhologija*, 11 (3), 25–43. <https://doi.org/10.17759/chp.2015110304> (In Russian)
- Kirschner, H., Klein, T. A. (2022). Beyond a blunted ERN — Biobehavioral correlates of performance monitoring in schizophrenia. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 133, art. 104504. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.12.027>
- Klimusheva, T. A. (1965). Clinical and psychological studies of patients with paranoid schizophrenia with the Kandinsky — Clerambault syndrome. In: B. V. Zeigarnik, S. Ya. Rubinstein (eds). *Voprosy eksperimental'noi patopsikhologii*. Moscow, Research Institute of Psychiatry Press, 117–128. (In Russian)
- Krueger, R. F., Eaton, N. R. (2015). Transdiagnostic factors of mental disorders. *World Psychiatry*, 14 (1), 27–29. <https://doi.org/10.1002/wps.20175>
- Levinson, T., Prettyman, G., Savage, C., White, L., Moore, T. M., Calkins, M. E., Ruparel, K., Gur, R. E., Gur, R. C., Satterthwaite, T. D., Wolf, D. H. (2023). Activation of internal correctness monitoring circuitry in youths with psychosis spectrum symptoms. *Biological Psychiatry Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, 8 (5), 542–550. <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2023.01.010>

- Llerena, K., Wynn, J. K., Hajcak, G., Green, M. F., Horan, W. P. (2016). Patterns and reliability of EEG during error monitoring for internal versus external feedback in schizophrenia. *International journal of psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 105, 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.04.012>
- Meyer, D. E., Osman, A. M., Irwin, D. E., Yantis, S. (1988). Modern mental chronometry. *Biological Psychology*, 26 (1–3), 3–67. [https://doi.org/10.1016/0301-0511\(88\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0301-0511(88)90013-0)
- National Institute of Mental Health. *Research Domain Criteria (RDoC)*. Available at: <https://www.nimh.nih.gov/research/research-funded-by-nimh/rdoc> (accessed: 10.09.2023).
- van Noordt, S. J. R., Segalowitz, S. J. (2012). Performance monitoring and the medial prefrontal cortex: a review of individual differences and context effects as a window on self-regulation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, article 197. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00197>
- Pasion, R., Barbosa, F. (2019). ERN as a transdiagnostic marker of the internalizing-externalizing spectrum: A dissociable meta-analytic effect. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 103, 133–149. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.06.013>
- Riesel, A., Klawohn, J., Grützmann, R., Kaufmann, C., Heinzel, S., Bey, K., Lennertz, L., Wagner, M., Kathmann, N. (2019). Error-related brain activity as a transdiagnostic endophenotype for obsessive-compulsive disorder, anxiety and substance use disorder. *Psychological Medicine*, 49 (7), 1207–1217. <https://doi.org/10.1017/S0033291719000199>
- Sagalakova, O. A., Truevtsev, D. V., Sagalakova, A. M. (2016). *Violation of cognitive regulation of social anxiety in anti-vital behavior*. Tomsk, Tomsk University Press. (In Russian)
- Sagalakova, O. A., Truevtsev, D. V., Zhirnova, O. V. (2021). Error-related negativity: Neurocognitive transdiagnostic marker of anxiety disorders. *Nevrologicheskii vestnik*, 53 (1), 80–83. <https://doi.org/10.17816/nb58800> (In Russian)
- Sagalakova, O. A., Truevtsev, D. V., Zhirnova, O. V., Tinekov, A. V. (2023). The effects of social anxiety and shame in voice development: Metacognitive processing of adverse relationship experiences and vigilance toward social threats. *Klinicheskaya i sotsial'naya psikhologiya*, 12 (2), 25–53. <https://doi.org/10.17759/cpse.2023120202> (In Russian)
- Seow, T. X. F., Benoit, E., Dempsey, C., Jennings, M., Maxwell, A., McDonough, M., Gillan, C. M. (2020). A dimensional investigation of error-related negativity (ERN) and self-reported psychiatric symptoms. *International Journal of Psychophysiology*, 158, 340–348. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.09.019>
- Storchak, H., Ehlis, A. C., Fallgatter, A. J. (2021). Action-monitoring alterations as indicators of predictive deficits in schizophrenia. *Topics in Cognitive Science*, 13 (1), 142–163. <https://doi.org/10.1111/tops.12495>
- Voegler, R., Peterburs, J., Lemke, H., Ocklenburg, S., Liepelt, R., Straube, T. (2018). Electrophysiological correlates of performance monitoring under social observation in patients with social anxiety disorder and healthy controls. *Biological Psychology*, 132, 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2017.11.003>
- Xu, L. H., Zhu, T. Yu., Tang, Yi. Yi., Tang, X. C., Qian, Z. Yi., Wei, Ya. Ya., Cui, H. R., Hu, Ye. G., Zhang, D., Wang, Yi. C., Zhu, J. J., Li, H., Liu, X. H., Zhang, T. H., Hong, X. F., Wang, J. J. (2024). Impaired insight and error-monitoring deficits among outpatients with attenuated psychosis syndrome and first-episode psychosis. *Journal of Psychiatric Research*, 170, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2023.12.007>
- Zou, L.-Q., Wang, K., Qu, C., Lui, S. S. Y., Shum, D. H. K., Cheung, E. F. C., Chan, R. C. K. (2014). Verbal self-monitoring in individuals with schizotypal personality traits: An exploratory ERP study. *Asian Journal of Psychiatry*, 11, 53–58. <https://doi.org/10.1016/j.ajp.2014.06.004>

Received: October 26, 2023

Accepted: May 23, 2024

Authors' information:

Olga A. Sagalakova — PhD in Psychology, Associate Professor, Senior Research, Laboratory of Experimental Pathopsychology; <https://orcid.org/0000-0001-9975-1952>, olgasagalakova@mail.ru
Dmitry V. Truevtsev — PhD in Psychology, Associate Professor, Senior Research, Laboratory of Experimental Pathopsychology; <https://orcid.org/0000-0003-4246-2759>, truevtsev@gmail.com
Olga V. Zhirnova — Junior Researcher, Laboratory of Experimental Pathopsychology; <https://orcid.org/0000-0002-6680-8286>, olga.zhirnova.2015@mail.ru
Anatoly M. Sagalakov (1946–2023) — Dr. Sci. in Physical and Mathematical Sciences, Professor; <https://orcid.org/0000-0001-7641-9025>