

ФИЗИОЛОГИЯ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ (КОГНИТИВНОЙ)
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

УДК 612.821

МОЗГОВАЯ АКТИВНОСТЬ ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ ЭМОЦИЙ
ПО ВЫРАЖЕНИЮ ГЛАЗ

© 2025 г. М. А. Желтякова¹, А. Д. Мызников¹, А. Д. Коротков^{1, *}, И. С. Князева¹,
Р. С. Машарипов¹, Д. В. Чередниченко¹, М. В. Киреев^{1, 2}

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мозга человека им. Н.П. Бехтеревой
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: korotkov@ihb.spb.ru

Поступила в редакцию 14.11.2024 г.

После доработки 11.12.2024 г.

Принята к публикации 11.12.2024 г.

В рамках настоящего исследования проведена психофизиологическая апробация разработанной ранее расширенной русскоязычной модификации психологического теста для оценки мозгового обеспечения аффективного компонента процесса ментализации – «Чтение эмоций по выражению глаз» (англ. Reading the Mind in the Eyes Test, сокр. RMET) с использованием метода функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ). В основной анализ были включены фМРТ-данные для 40 испытуемых (средний возраст – 22.5 ± 3.2 года, 13 мужчин и 27 женщин). В результате воспроизводимое RMET-ассоциированное увеличение уровня локальной активности в сравнении с контрольным условием (определение возраста) было установлено для целого ряда структур мозга человека, которые, по данным предыдущих исследований, вовлекались в обеспечение процессов по определению эмоциональных состояний по выражению глаз, включая нижние лобные извилины, дополнительную моторную кору обоих полушарий, левую прецентральную извилину и правую среднюю/верхнюю височную извилину. Вместе с тем были получены новые данные о вовлечении мозжечка и таламуса в обеспечение процессов считывания эмоционального выражения глаз по сравнению с процессом определения возраста при выполнении RMET-задания, упоминавшемся ранее только в единичных работах. Помимо этого, были выявлены новые эффекты изменения уровня локальной активности в условиях RMET-задания, уточняющие характер вовлечения медиальной префронтальной коры, предклинья, левой угловой извилины и левой средней/верхней височной извилины мозга человека в обеспечение определения аффективных внутренних, психических состояний другого человека. Таким образом, в результате проведенного фМРТ-исследования был не только успешно апробирован расширенный вариант русскоязычного RMET-задания, но и получены новые данные, расширяющие представления о составе структур мозга, связанных с аффективным аспектом процессов, ассоциированных с ментализацией.

Ключевые слова: фМРТ, Theory of Mind, RMET, определение эмоций

DOI: 10.31857/S0044467725020051

ВВЕДЕНИЕ

Человек обладает способностью формировать модель психического состояния, частью данной способности является понимание таких состояний других людей, как цели, намерения, знания, убеждения, размышления, сомнения, догадки, симпатии и т.д., в результате чего формируется так называемая Theory of Mind (далее – ТОМ) (Premack, Woodruff, 1978). В ходе изучения ТОМ был предложен и термин, обозначающий процесс формирования данной модели, – теперь широко используемый термин

«ментализация» («mentalsing») (Frith, 1989). Считается, что данная способность обеспечивается одноименной функциональной нейроанатомической системой головного мозга человека (нейрональная система ТОМ). Согласно литературным данным, в том числе и метаобзорам последнего времени, ключевыми звеньями нейрональной ТОМ-системы являются билатеральная височно-теменная область коры головного мозга, нижняя лобная извилина, латеральная височная кора, медиальная префронтальная кора и предклинья (Arioli et al., 2021; Balgova et al., 2024; Diveica et al., 2021; Mar, 2011; Molenberghs

et al., 2016; Schurz et al., 2014; Van Overwalle, 2009). В соответствии с одним из распространенных представлений (Brothers, Ring, 1992), данную систему подразделяют на два компонента: когнитивный, включающий в себя области мозга, обеспечивающие понимание намерений, и структуры обеспечения аффективного компонента, связанного с определением, рассуждениями и умозаключениями об эмоциональных состояниях других людей.

Нейрональная система головного мозга человека, обеспечивающая работу аффективного компонента ТОМ, в сравнении с когнитивным, характеризуется большим вовлечением височных областей, нижних лобных извилин и дополнительной моторной коры (Arioli et al., 2021; Vodden et al., 2013; Molenberghs et al., 2016). Такая относительная специализация вышеуказанных структур подтверждается избирательными нарушениями, наблюдаемыми при психических заболеваниях. Нарушения вовлечения социокогнитивных процессов специфично в аффективном, но не в когнитивном компоненте ТОМ, отмечаются, например, при шизофрении и расстройствах аутистического спектра (Altschuler et al., 2018; Shamay-Tsoory et al., 2007). Так, например, при определении эмоциональных состояний по направлению взгляда других людей пациенты с шизофренией допускают больше ошибок по сравнению с контрольной группой здоровых испытуемых, а количество ошибок положительно коррелирует с уровнем негативной симптоматики пациентов (Shamay-Tsoory et al., 2007). При ответе на вопросы об эмоциональных состояниях людей на видео или в прослушанных историях худшие результаты предсказывают больший уровень нарушений социального аспекта поведения при расстройствах аутистического спектра, согласно шкале наблюдения для диагностики аутизма (Autism Diagnostic Observation Schedule) (Altschuler et al., 2018). Такие нарушения сопровождаются структурными и функциональными перестройками в областях мозга, относящихся к аффективному компоненту нейрональной системы ТОМ. Так, например, у больных шизофренией и биполярным расстройством личности худшие результаты при выполнении заданий на понимание состояний других людей ассоциируются с меньшей толщиной правой передней височной коры (Quidé et al., 2020). Согласно результатам метаанализа, при выполнении заданий на аффективный компонент ТОМ у пациентов с шизофренией наблюдается снижение активности в правой нижней лобной извилине относительно здоровых добровольцев (Vucurovic et al., 2020). Результаты ранее проводившихся нейробиологических и фМРТ-исследований аффективного аспекта ТОМ-ассоциированных процессов свидетельствуют об их потенциальной диагностической значимости для оценки риска развития

заболеваний, разработки реабилитационных методик, адаптированных к конкретным аспектам социокогнитивных навыков и создания новых протоколов лечения, нацеленных на конкретные нейронные корреляты посредством нейромодуляции.

Одним из инструментов психодиагностики, широко используемых в клинической практике и научных исследованиях мозгового обеспечения аффективной ментализации, является тест на определение эмоционального состояния по взгляду (Reading the Mind in the Eyes Test, RMET). Данный тест был предложен в 1997 году (Baron-Cohen et al., 1999), затем был дополнен и исправлен в 2001 году (Simon Baron-Cohen et al., 2001). Стандартное задание с использованием RMET состоит из 36 заданий (стимулов) – фотографий, изображающих полуоткрытые лица, взглядом и мимикой выражающие определенную эмоцию. В задачу испытуемого входит выбор подходящего слова, наиболее точно описывающего эмоцию на изображении лица. В качестве контрольного условия выступает задача либо определения пола человека, либо его возраста по фотографии глаз. Этот тест является актуальным, часто используемым и обсуждаемым методом (например, (Pavlova, Sokolov, 2022)). RMET широко использовался в клинических исследованиях (метаанализ (Johnson et al., 2022)), в частности таких заболеваний, как расстройства аутистического спектра (метаанализ (Peñuelas-Calvo et al., 2019)), шизофрения (метаанализ (Deng et al., 2024)), клиническая депрессия (Simon et al., 2019), пограничное расстройство личности (метаанализ (Boa, 2021)), нейродегенеративные заболевания (метаанализ (Stafford et al., 2023)) и расстройства пищевого поведения (метаанализ (Preti et al., 2022)). Кроме того, данный тест также использовался в исследованиях здоровых добровольцев при изучении коллективного интеллекта (Woolley et al., 2015), физиологической реакции на стресс (Tollenaar, Overgaauw, 2020), когнитивных процессов старения (Castelli et al., 2010a; Hartshorne, Germine, 2015) и половых различий (Greenberg et al., 2023). Востребованность задания также подтверждается количеством переводов и адаптаций. Так, был разработан RMET с теми же целевыми словами и той же сложностью, что и исходный вариант, но с азиатскими лицами (Adams et al., 2010), корейскими лицами (Koo et al., 2021), чернокожими лицами (Handley et al., 2019), а также многорасовый вариант теста (Kim et al., 2024).

Функциональная активность головного мозга человека, связанная с обеспечением деятельности в условиях реализации RMET-задания, была подробно изучена в мировой литературе. В статье с результатами первого фМРТ-исследования с использованием RMET-задания при определении эмоционального состояния другого человека, в отличие от контрольного условия по определению

пола изображенного лица, сообщалось об увеличении активности головного мозга человека в следующих областях: задней части верхней и средней височных извилин билатерально, левой нижней и средней лобной извилине, дополнительной моторной коре и левой миндалине (Bagon-Cohen et al., 1999). Дальнейшие фМРТ-исследования подтвердили ключевую роль задней части верхней височной извилины и нижней лобной извилины в обоих полушариях мозга человека в обеспечении понимания эмоциональных состояний по выражению глаз (Adams et al., 2010; Castelli et al., 2010; Gunther Moor et al., 2012; Kamashita et al., 2024; Overgaauw et al., 2015b; Thye et al., 2018b). Этим представлениям также соответствуют результаты метаанализов фМРТ-исследований, указывающие на связь RMET-ассоциированных процессов с активностью в нижней лобной извилине, задней части верхней височной извилины, поясной извилине и дополнительной моторной коре билатерально, а также в средней лобной и прецентральной извилинах в левом полушарии (Molenberghs et al., 2016; Schurz et al., 2014).

Русскоязычная адаптация RMET-задания упоминалась в более ранних работах (Румянцева Е.Е., 2013; Сахибалиева и др., 2024), однако использованный в ней стимульный материал, процедура и результат его валидации описаны не были. При этом фМРТ-исследования с использованием русскоязычной версии RMET единичны и имеют крайне малый объем выборки (в исследовании (Сахибалиева и др., 2024) – 8 человек).

Важным методическим ограничением RMET-задания, которое использовалось во всех предыдущих исследованиях, является малое количество стимульного материала (36 изображений), ограничивающее его применение в нейровизуализационных исследованиях (например, фМРТ). Дело в том, что, согласно (Masharipov et al., 2024), если в задачу фМРТ-исследования входит оценка изменений функциональной связности, обусловленных выполнением тестового задания, то, учитывая расчетные показатели специального симуляционного исследования, именно для RMET-задания необходимо как минимум 80 предъявлений разных стимулов на одно экспериментальное условие. Проведенная нами оценка литературных данных показывает, что фМРТ-исследования RMET-задания характеризуются существенным отклонением от данных показателей (предъявляемых стимулов существенно меньше), а значит, низкой статистической мощностью. В связи с этим нами ранее была проведена работа по разработке и апробации расширенного варианта тестового задания RMET на русском языке на основе валидированного набора из 144 стимулов (Бурсов и др., 2024), которое сможет применяться для изучения мозгового обеспечения аффективного компонента способности ТОМ. В рамках настоящего

исследования, в целях психофизиологической апробации созданного расширенного тестового задания RMET, было проведено фМРТ-исследование для оценки сопоставимости результатов изучения мозговой активности, полученных с применением новой версии и оригинального RMET-задания. Таким образом, целью данной работы стала проверка воспроизводимости ранее опубликованных данных путем проведения нейровизуализационного фМРТ-исследования с использованием расширенной русскоязычной модификации RMET.

МЕТОДИКА

В текущее исследование был включен 41 здоровый праворукий испытуемый (средний возраст – 22.5 ± 3.2 года, 14 мужчин и 27 женщин) без неврологических и психиатрических заболеваний. Правшество-левшество добровольцев оценивалась с использованием Эдинбургского опросника (Oldfield, 1971). Все добровольцы подписывали информированное письменное согласие на участие в исследовании, все процедуры которого были разрешены Комитетом по этике Института мозга человека им. Н.П. Бехтерева РАН.

Тестовое задание на определение эмоций по выражению глаз

Изображения. Для формирования стимульного материала были использованы фотографии базы университета МакГилла, созданной для исследований процессов распознавания эмоций (Schmidtman et al., 2020). На фотографиях два актера, мужчина и женщина, изображают целевые эмоции по заданию составителей базы стимулов (т.е. изначальная эмоция была известна заранее и экспериментатору, и актерам). Полный набор фотографий состоит из 93 эмоций, которые описываются одним прилагательным (например, «irritated», «раздраженный», или «terrified», «ужаснувшийся»). Каждая эмоция представлена в четырех вариантах изображений: с мужским или женским лицом анфас или три четверти. По аналогии с RMET в нашем тесте были использованы только взгляды – обрезанные черно-белые изображения лиц.

Описание взглядов. Каждое описание взгляда (целевой эмоции) было переведено на русский язык одним прилагательным. Из описаний взглядов были исключены те эмоции, которые нам не удалось описать одним словом (например, «relieved», «испытывающий облегчение»). Приемлемость описания взглядов тем или иным прилагательным проверялась с помощью Национального корпуса русского языка (ruscorpora.ru, по состоянию на 13.11.2023). Описание исключалось из набора, если прилагательное не встречается в корпусе

при описании взгляда или глаз. Описания с низкой частотностью (например, «оторопелый») также были исключены из набора или заменены на более частотные (так, «удрученный» был заменен на «подавленный»).

В итоговый набор было включено 82 описания взгляда, пять из которых были повторами: «встревоженный» («worried/alarmed»), «подавленный» («depressed/dispirited»), «довольный» («contented/satisfied»), «подозревающий» («dubious/suspicious») и «нерешительный» («indecisive/tentative») взгляды встречаются дважды. Однако изображения взглядов к повторным описаниям не повторяются (как и альтернативные варианты ответа – см. ниже). Поскольку невозможно было предварительно оценить, насколько описания на русском и английском языках соответствуют друг другу, а в нашем приоритете было именно соответствие описания изображению, мы решили оставить повторяющиеся описания, чтобы с помощью дальнейшей валидации определить достаточно хорошо распознаваемые эмоции (т.е. с большей точностью распознавания).

Варианты ответов. В наиболее известном варианте теста RMET (Simon Baron-Cohen et al., 2001) предлагается четыре варианта ответа, однако содержательные характеристики вариантов в аналогичных тестах могут варьироваться. Например, в пересмотренной версии оригинального теста (S. Baron-Cohen et al., 2001) используются близкие по значению альтернативы с целью проверки способностей распознавания нюансов эмоциональных выражений лица. Другой способ подбора альтернатив – случайный выбор при каждом предъявлении, реализованный авторами базы стимулов (Schmidtman et al., 2020). Таким образом исследователи оценивали соотношенность описания целевой эмоции и изображения. Тем временем наша задача состояла в создании готовой батареи заданий для изучения механизмов распознавания эмоций. Исходя из этой цели, варианты в нашем тесте всегда были фиксированными.

Ввиду вышесказанного в нашем тесте комбинации вариантов, так же как в работе Шмидтмана и соавт. (Schmidtman et al., 2020), были отобраны из общего списка случайным образом так, чтобы варианты не повторялись внутри одной комбинации. Набор альтернатив был одинаковым для четырех вариантов взгляда, т.е. мужского/женского взгляда анфас / три четверти. Так, для каждой эмоции участник выбирал между целевой эмоцией и тремя случайно подобранными «неправильными» вариантами ответа. При этом в рамках одного набора из 4 вариантов ответа могли находиться и близкие по значению прилагательные (например, в «четверке» подозревающий-осторожный-сожалеющий-жаждущий первые два варианта схожи между собой).

Отбор стимулов. Далее был проведен отбор стимулов (изображение глаз и 4 варианта прилагательных, включая 1, правильно описывающий взгляд), в которых правильный ответ определяется с точностью не менее 50%. На основе данных 212 добровольцев по данному критерию было отобрано 144 стимула, которые включали в себя как положительные, так и отрицательные эмоциональные состояния; также среди описаний были и нейтральные (например, «безразличный») (Бурсов и др., 2024). В отобранных изображениях количество женских лиц немного превышает мужские – 74 и 70 соответственно. Такое распределение повторяет результаты валидации изображений эмоций (Schmidtman et al., 2020). Данным изображениям соответствуют 64 уникальных описания взгляда (от 1 до 5 уникальных изображений на описание, в среднем 2.25), только «довольному» взгляду соответствует 5 заданий. Второй этап проводился с целью проверки результатов, полученных на первом этапе, на новой выборке. В данном этапе участвовало 156 добровольцев (90 женщин, 66 мужчин, возраст 19–73, $M = 36.6$, $SD = 9.8$), и средняя точность их ответов составила 71%. Соответственно, в итоговый набор вошли 144 стимула, с использованием которых и было разработано тестовое задание для фМРТ-исследования.

Тестовое задание. В качестве условия, требующего вовлечения аффективного субкомпонента ТОМ-способности, было использовано задание на понимание эмоций по изображению глаз другого человека. Испытуемые видели на экране фотографии области глаз вместе с 4 прилагательными (например, «надменный», «подавленный», «уверенный», «довольный»). Их задачей было выбрать слово, наиболее точно описывающее показанный на фотографии взгляд (и, соответственно, состояние человека). В качестве контрольного условия на экране демонстрировалась фотография области глаз вместе с 4 вариантами возраста (например, двадцать, тридцать, сорок, пятьдесят, шестьдесят). Задачей испытуемых было определить возраст человека на изображении. Исследование включало в себя 144 стимула с изображением глаз, каждый из которых был использован 2 раза – в задании на понимание эмоций и в задании на определение возраста.

Тест состоял из 3 сессий, продолжительность каждой из которых составляла 17 минут. Перед началом каждой сессии на экране в течение 5.5 секунды предъявлялся крест фиксации – белый крест на черном фоне. Сессии включали чередующиеся целевые блоки и блоки покоя с предъявлением креста фиксации (рис. 1). Одна сессия состояла из набора 24 целевых блоков и 24 блоков покоя. В рамках целевого блока перед его началом на экране предъявлялась надпись, соответствующая варианту задания («взгляд» или «возраст»).

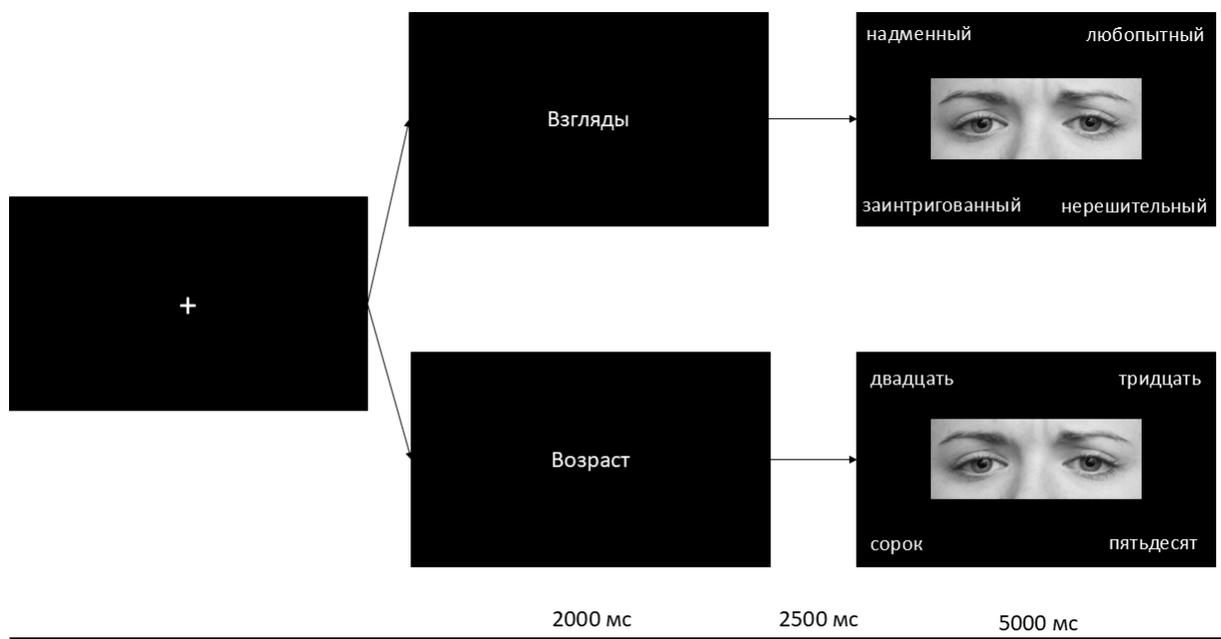


Рис. 1. Схема тестового задания на определение эмоций (RMET).

Fig. 1. Schematic illustration of the Reading the Mind in the Eyes Test (RMET).

Время предъявления варианта задания составляло 2 секунды. Затем на экране предъявлялся крест фиксации. Время фиксации между надписью и началом блока варьировалось от 1.5 до 3.5 секунды. Одна сессия включала по 12 блоков для каждого из вышеописанных условий.

Блок состоял из 4 проб. Каждая проба длилась 5 секунд, в течение которых испытуемые видели на экране фотографию области глаз с 4 вариантами ответа (4 прилагательных или 4 варианта возраста) и выбирали ответ путем нажатия на кнопку на джойстике. Интервал между пробами варьировался от 1 до 4 секунд. Общая продолжительность блока составляла 30 секунд. Презентация стимулов, запись ответов испытуемых, а также синхронизация с регистрацией функциональных фМРТ-изображений проходила при помощи системы In vivo Eloquence fMRI System и программного пакета Eprime 2.0. (Psychology Software Tools Inc., Pittsburgh, PA, USA).

Регистрация и предварительная обработка фМРТ-изображений

Исследование проводилось на томографе Philips Achieva 3.0 Тесла. Структурные изображения регистрировались с использованием T1-взвешенной импульсной последовательности (T1W-3D-FFE; repetition time (TR) = 2.5 мс; echo time (TE) = 3.1 мс; угол отклонения намагниченности (flip angle) 30°). Было получено 130 аксиальных срезов толщиной 0.94 мм и размером пикселя 1×1 мм

(поле обзора (FOV) = 240×240 мм; матрица сканирования 256×256). Для регистрации функциональных T2*-изображений использовалась эхопланарная (EPI) одноимпульсная последовательность (TE = 35 мс; flip angle 90°; FOV = 208×208 мм; матрица сканирования 128×128). Непрерывно получаемые изображения состояли из 32 аксиальных срезов толщиной 3.5 мм (размер вокселя 3×3×3.5 мм), покрывали весь объем коры больших полушарий и большую часть мозжечка и были ориентированы в соответствии со структурными изображениями. Время получения одного функционального изображения (TR) составляло 2000 мс.

Предварительная обработка изображений включала: пространственное выравнивание изображений, коррекцию на время регистрации срезов одного изображения, корегистрацию структурных и функциональных изображений, сегментацию структурных изображений на разные виды тканей, нормализацию к стандартному координатному пространству Монреальского Неврологического Института (MNI, Montreal Neurological Institute) и пространственное сглаживание (Гауссовский фильтр с шириной 8 мм). Обработка изображений и статистический анализ проводились в программном пакете SPM12 (Statistical parametric mapping) (<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm>) в среде MATLAB (Mathworks Inc., Natick, MA, USA). Для предотвращения излишнего движения головы в процессе регистрации фМРТ-изображений использовалась МРТ-совместимая фиксация головы и шеи – воротник Шанца.

Статистический анализ фМРТ-данных

Для данных исследования с применением задания RMET на индивидуальном этапе использовалась общая линейная модель (ОЛМ) для расчета блоковых эффектов. В нее были включены 2 регрессора для блоков, отражающих 2 типа условий: 1) задание на определение эмоций (RMET test); 2) контрольное задание по определению возраста. Также в качестве игнорируемых переменных в статистическую модель были включены регрессоры с указанием времени предъявления подготовительных стимулов – надписей, информирующих о варианте задания перед началом блока, – а также 24 регрессора для учета влияния артефактов движения согласно Friston и др. (1996). Регрессоры проходили процедуру свертки со стандартной функцией гемодинамического ответа. На первом уровне анализа рассчитывались t-контрасты типа «Условие > Оперативный покой». Данные контрасты использовались в качестве переменных на втором (групповом) уровне анализа. На втором уровне анализа модель включала в себя один фактор с двумя уровнями, а именно тестовое задание – определение эмоций и определение возраста; для нее были рассчитаны t-контрасты «определение эмоций > определение возраста» и «определение возраста > определение эмоций».

Статистический вывод производился при помощи классической частотной статистики с порогом значимости $p < 0.05$ на кластерном уровне с коррекцией на множественность сравнений по методу FWE (family-wise error rate). Для того чтобы при групповом сравнении анализировались только те воксели, которые относились к серому веществу коры головного мозга, была создана групповая маска на основе данных сегментации структурных T1-изображений каждого испытуемого. Xjview Toolbox (<https://www.alivelearn.net/xjview/>) использовался для определения анатомического расположения полученных кластеров. MRICroGL использовался для визуализации результатов и создания иллюстраций (<https://www.nitrc.org/projects/mricrogl/>).

С целью демонстрации сопоставимости полученных результатов с имеющимися литературными данными мы использовали результаты метааналитической кластеризации нейровизуализационных исследований с использованием социокогнитивных тестовых заданий по данным Schurz и соавт. (Schurz et al., 2021), по результатам которой были выделены 1) когнитивный, 2) аффективный и 3) смешанный кластеры исследований, отличающихся по степени вовлеченности доменов нейрональной ТОМ-системы. Для сравнения результатов текущего исследования были использованы статистические параметрические карты для аффективного домена, в котором обобщены результаты

исследований по изучению мозгового обеспечения аффективного домена системы ТОМ, в т.ч. с использованием тестового задания RMET (<https://neurovault.org/collections/9936/>, дата обращения: 03.09.24). Результаты настоящего исследования представляли собой статистические параметрические карты для t-контраста «определение эмоций > определение возраста», полученные на групповом этапе анализа всего мозга. Для определения потенциальных пересечений данные карты были наложены друг на друга с использованием программы для визуализации – MRICroGL.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поведенческие данные

При оценке успешности выполнения тестового задания на определение эмоций был исключен 1 испытуемый (точность выполнения задания на определение эмоций составила 12.5%); таким образом, в основной анализ были включены данные 40 испытуемых. При оценке поведенческих данных было получено значимое различие во времени реакции для различных тестовых условий (ANOVA, основной эффект задания, $p < 0.001$). Среднее время реакции для задания с определением эмоций было выше (3190 ± 310 мс), чем при определении возраста (2490 ± 460 мс). Средний процент правильных ответов при определении эмоций составил 66.9 ± 7.0 %.

Результаты фМРТ

Повышение локальной активности, связанное с пониманием эмоций. Было выявлено большее повышение уровня локальной активности в нижних лобных извилинах билатерально, в дополнительной моторной области, левой прецентральной извилине, мозжечке и таламусе при определении эмоций по сравнению с условием определения возраста. Особенно стоит отметить изменения локальной активности в мозжечке и таламусе, которые, как правило, не обнаруживаются вовлеченными в процесс определения эмоций, согласно анализу литературы. Мы полагаем, что это может быть связано или с используемыми контрольными заданиями, или со статистической мощностью, что подробно рассмотрено в разделе «Обсуждение результатов». В левых височно-теменной области, средней и верхней височных извилинах в обоих условиях наблюдалось снижение уровня локальной активности, более выраженное при определении возраста, по сравнению с RMET-заданием. Наконец, в правых средней и верхней височных извилинах было обнаружено повышение локальной активности при определении эмоций, тогда

как при определении возраста – снижение. Результаты представлены на рис. 2 и в табл. 1.

Снижение локальной активности, связанное с пониманием эмоций. Помимо повышения уровня локальной активности, определение эмоций было ассоциировано с большим снижением локальной активности в средней и верхней лобных извилинах билатерально, медиальной префронтальной коре, предклинье и угловых извилинах, относительно условия определения возраста. Результаты представлены на рис. 2 и в табл. 1.

Сопоставление результатов представлено на рис. 3, на котором показано пространственное перекрытие результатов текущего исследования с данными метаанализа (Schurz et al., 2021) в нижних лобных извилинах билатерально, области задних отделов

средней/верхней височных извилин билатерально, в поясной коре и дополнительной моторной области, таламусе билатерально.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате проведения настоящего исследования показано, что при использовании расширенной русскоязычной модификации RMET-задания определение эмоций по сравнению с контрольным условием (определение возраста) связано с повышением BOLD-сигнала в нижних лобных извилинах, дополнительной моторной области в обоих полушариях, левой прецентральной извилине и правых средней/верхней височных

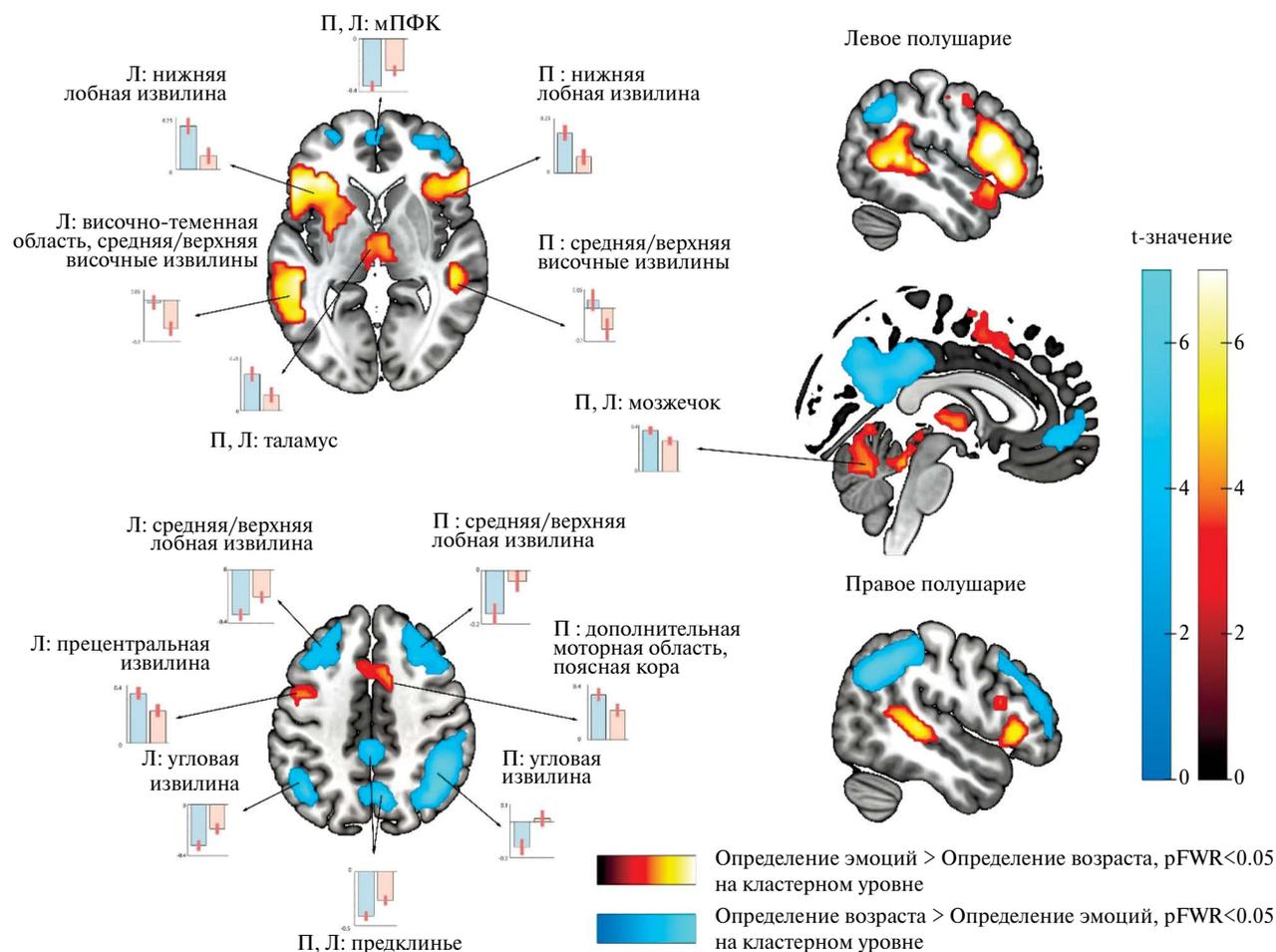


Рис. 2. Статистические параметрические карты результатов анализа фМРТ-данных для контрастов «Определение эмоций > Определение возраста» и «Определение возраста > Определение эмоций», сформированные с использованием скорректированного статистического порога на кластерном уровне методом FWE $p < 0.05$. Для каждой полученной области были сформированы гистограммы с направлением и размером эффектов (числовая шкала в относительных единицах): голубой – определение эмоций, розовый – определение возраста.

Fig. 2. Statistical parametric maps for contrasts «Affective mental state recognition > Age recognition» and «Age recognition > Affective mental state recognition» (cluster-level $p_{FWE} < 0.05$). For each cluster, the effect size is presented (in arbitrary units): blue for the affective mental state recognition, pink – for the age recognition.

Таблица 1. Результаты анализа фМРТ-данных для различных контрастов, сформированные с использованием скорректированного статистического порога на кластерном уровне методом FWE $p < 0.05$.

Table 1. Results of fMRI data analysis for both contrasts: «Affective mental state recognition > Age recognition» and «Age recognition > Affective mental state recognition» (cluster-level pFWE < 0.05).

№	Анатомическая локализация	Размер кластера	t-значение пиков	Координаты в стандартном анатомическом пространстве MNI		
				x	y	z
Определение эмоций > Определение возраста						
1	Л: нижняя лобная извилина (<i>p. orbitalis</i> и <i>p. opercularis</i>), прецентральная извилина, передняя инсула	1205	8.3523	-51	17	17
			7.5324	-39	26	-4
			4.6704	-30	-1	2
2	Л: височно-теменная область, средняя/верхняя височные извилины	567	7.1027	-48	-43	5
			5.8753	-57	-43	23
3	П: нижняя лобная извилина (<i>p. orbitalis</i> и <i>p. opercularis</i>), передний островок, передняя инсула	277	6.6239	57	29	2
			4.406	42	11	11
4	П: средняя/верхняя височная извилина	134	5.9914	48	-34	2
5	Л: прецентральная извилина	127	5.1701	-42	-1	47
6	П, Л: поясная кора, дополнительная моторная область	301	5.077	12	14	35
			4.3889	9	-1	59
			3.9426	-6	17	47
7	П, Л: таламус	121	4.8073	6	-13	-1
			4.7582	3	-40	-22
8	П, Л: мозжечок	252	4.5168	-12	-58	-16
			3.5175	15	-55	-16
Определение возраста > Определение эмоций						
1	П: угловая извилина, нижняя теменная доля	650	7.1424	45	-64	35
			6.618	45	-46	44
2	Л: угловая извилина	238	6.4842	-42	-61	38
3	П: средняя/верхняя лобные извилины	629	6.3663	33	14	56
			5.0926	48	38	26
			4.2893	30	53	-1
4	П, Л: предклинье	924	6.1996	6	-34	35
			6.1697	0	-58	26
5	Л: средняя/верхняя лобные извилины	357	5.9564	-27	17	53
			4.8312	-24	38	44
			4.7601	-42	23	41
6	П, Л: медиальная префронтальная кора	303	4.7657	12	65	14
			4.7076	-3	47	-7
			4.3175	-24	62	17

извилинах. Соответственно, результаты изучения мозговой активности, полученные с применением новой версии теста, в значительной степени воспроизводят вовлечение структур мозга человека, выявленных ранее в фМРТ-исследованиях с использованием оригинальной версии RMET (см. рис. 3). Помимо этого, были получены новые данные о вовлечении мозжечка и таламуса в процесс идентификации эмоций в условиях тестового задания RMET, которые, как правило, не выявляются

в фМРТ-исследованиях. Вместе с тем, благодаря впервые оцененному в нашем исследовании направлению эффектов изменения BOLD-сигнала при реализации RMET-задания, были выявлены новые особенности вовлечения отдельных структур мозга из числа вышеупомянутых. Например, в то время как активность правых средней и верхней височных извилин повышалась при определении эмоций (по сравнению с контрольным условием), активность аналогичной области в левом

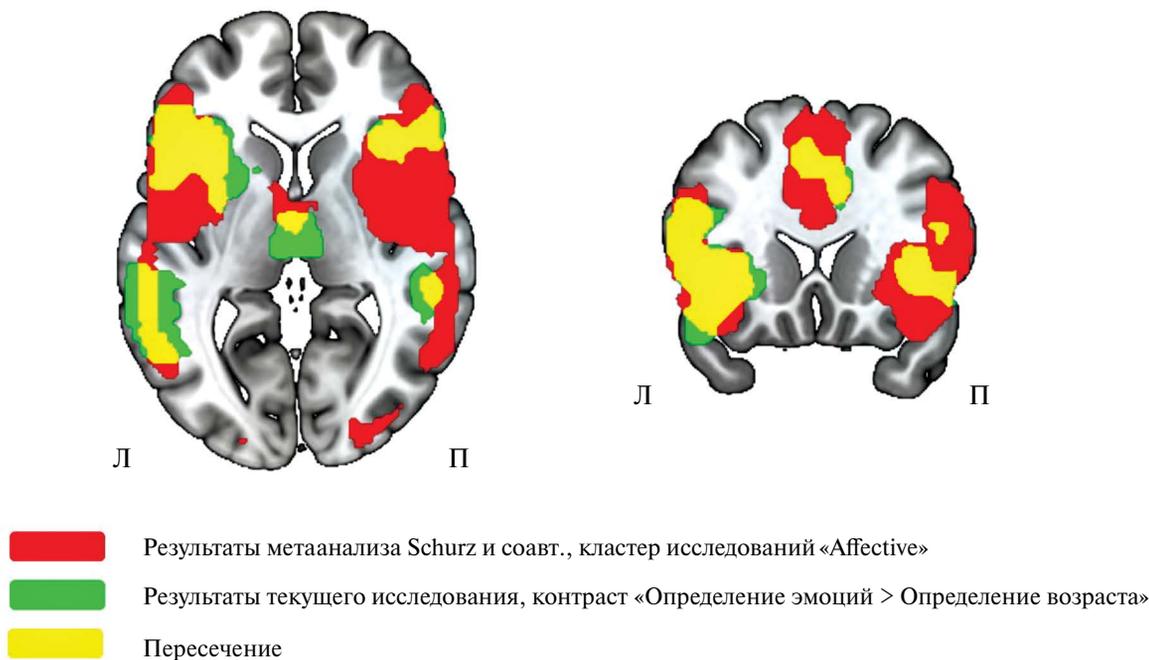


Рис. 3. Сопоставление результатов текущего фМРТ-исследования (результаты для контраста «Определение эмоций > Определение возраста») с результатами метаанализа Schurz и соавт. (Schurz et al., 2021).

Fig. 3. Comparisons of results for the current study («Affective mental state recognition > Age recognition» contrast) and a recent meta-analysis of Schurz et al. (Schurz et al., 2021).

полушарии при определении эмоции не менялась относительно фоновых значений, что сопровождалось резким снижением при контрольном условии (см. рис. 2). Также было установлено ранее не упоминавшееся в литературе более выраженное снижение уровня локальной активности в медиальной префронтальной коре, предклинье и левой угловой извилине при определении эмоций в сравнении с определением возраста. Таким образом, разработанная нами русскоязычная расширенная версия RMET-задания прошла психофизиологическую апробацию, а фМРТ-исследование с ее использованием не только воспроизводит ранее опубликованные данные, но и дополняет их.

Рассмотрим полученные результаты более подробно. Как и в предыдущих фМРТ-исследованиях с использованием стандартного RMET-задания, при определении эмоций по сравнению с контрольным условием (определение возраста) в настоящем исследовании было установлено повышение уровня функциональной активности в таких структурах головного мозга человека, как билатеральные нижние лобные извилины, дополнительная моторная область, левая прецентральная извилина и правая средняя/верхняя височная извилина. Перечисленные области мозга являются наиболее часто упоминаемыми находками в нейровизуализационных исследованиях с использованием RMET-задания (Adams et al., 2010; Castelli

et al., 2010; Kamashita et al., 2024; Overgaauw et al., 2015; Thye et al., 2018a), что также находит подтверждение в метаанализах по данным фМРТ-исследований (Molenberghs et al., 2016; Schurz et al., 2021, 2014). Функциональная роль таких структур мозга в обеспечении распознавания эмоциональных выражений лица обычно рассматривается в связи с обеспечением процессов обработки зрительной информации (в том числе мимики) и ее сопоставлением с собственной моторной программой (в том числе отвечающей за лицевую экспрессию) — т.е. «заготовленным набором базовых двигательных команд, а также набором готовых корректирующих подпрограмм, обеспечивающих реализацию движения с учетом текущих афферентных сигналов и информации, поступающей от других частей центральной нервной системы» (Александров, 2007). Так, нижние лобные и прецентральные извилины классически относятся к системе зеркальных нейронов, вовлекаемой в обеспечение процесса считывания эмоций на предъявляемых изображениях через общий кодирующий механизм: одни и те же нейроны демонстрируют усиление импульсной активности и при использовании мимических мышц, и при наблюдении за выражениями лица, требующими работы тех же мимических мышц (Rizzolatti, Craighero, 2004). Также установлено, что области мозга, рассматриваемые как звенья системы зеркальных нейронов, получают входные

сигналы из средней и верхней височных извилин, обеспечивающих интеграцию зрительной информации (в т.ч. об эмоциональном выражении лица (Sabatinelli et al., 2011)), с помощью чего и возможна конвертация зрительной информации в моторную репрезентацию (Giese, Rizzolatti, 2015). На то, что связь между лобными и височными областями играют роль в выполнении задания RMET, указывает известная положительная корреляция между успешностью выполнения задания и микроструктурой крючковидного пучка в правом полушарии – тракта белого вещества, соединяющего правую лобную и переднюю височную доли (Coad et al., 2020). Еще одним механизмом понимания эмоциональных выражений лица может быть так называемая сенсомоторная симуляция (sensorimotor simulation), которая заключается в лицевом подражании. В соответствии с представлениями о мозговом обеспечении данного механизма, дополнительная моторная кора и левая прецентральная извилина, являясь звеньями сенсомоторной нейрональной системы головного мозга, автоматически активируются в ответ на наблюдение эмоционального выражения другого человека (Hess, Blairy, 2001) таким образом, как если бы происходило его формирование. Таким образом, выполнение разработанной нами расширенной русскоязычной версии RMET-задания связано с усилением активности в областях системы зеркальных нейронов, обработки зрительной информации и сенсомоторной системы, что воспроизводит результаты метаанализов фМРТ-исследований с оригинальной версией RMET.

В дополнение к областям мозга, которые, как правило, ассоциируются с обеспечением процессов определения эмоций в условиях RMET-теста, нами было выявлено повышение уровня локальной активности в таламусе и мозжечке билатерально при определении эмоций в сравнении с контрольным условием. Ранее подобные результаты были описаны лишь в единичных работах с использованием данного задания, и их функциональная роль в RMET-ассоциированных процессах не обсуждалась (Gosch et al., 2024; Thye et al., 2018b). Данные структуры мозга были отмечены в недавнем метаанализе как часть так называемого аффективного кластера областей мозга, относящихся к ТОМ – в этом исследовании использовался метод кластеризации для выделения отдельных компонентов нейрональной системы, обеспечивающей социальные взаимодействия, в том числе связанные с ТОМ (Schurz et al., 2021). Аффективный кластер объединяет области, установленные в результате метаанализов фМРТ-исследований не только с использованием RMET-теста, но также и других заданий по наблюдению и сопереживанию эмоциональным состояниям другого человека, то есть обеспечивающие аффективный компонент социальных

взаимодействий в целом. Можно предположить, что увеличение количества стимульного материала в разработанной нами версии RMET-теста позволяет повысить статистическую мощность достаточным образом, чтобы изменения активности в большем количестве областей мозга достигли порога статистической значимости, и дополнить уже известную информацию о мозговом обеспечении RMET. Так, например, повышение уровня локальной активности в мозжечке является распространенной находкой в нейровизуализационных исследованиях мозговых механизмов социальных взаимодействий. При этом ряд метаанализов продемонстрировал вовлечение мозжечка в процессы, ассоциированные как с аффективным, так и с когнитивным доменами ТОМ-системы. Так, метаанализ 24 исследований с использованием различных методов стимуляции мозга продемонстрировал повышение уровня социокогнитивных и социоаффективных способностей, ассоциированное с эффектом стимуляции задних отделов мозжечка (Van Overwalle et al., 2024). В рамках другого метаанализа фМРТ-исследований активации в мозжечке были выявлены с использованием как эксплицитных, так и имплицитных заданий на определение эмоций (Pierce et al., 2022). Основным механизмом вовлечения мозжечка в обеспечение процессов социальных взаимодействий, по мнению ряда исследователей, является его участие в процессах формирования внутренних моделей (представлений о содержании) психических процессов у оппонентов, с их последующей реализацией в виде определенных моторных программ (т.н. «sequencing»), реализующих социальные взаимодействия (Van Overwalle et al., 2020). Известно, что данный механизм может быть задействован и при обработке динамически меняющихся эмоциональных выражений лиц (Malatesta et al., 2024), однако в рамках настоящего исследования были использованы статические изображения эмоций. Помимо этого, по данным метаанализа Molenberghs и соавт., мозжечок является одной из структур, проявляющих свойства, характерные для активности структур мозга, входящих в состав системы зеркальных нейронов (Molenberghs et al., 2012). Повышение уровня локальной активности в мозжечке было показано в ряде исследований при наблюдении и имитации эмоциональных выражений лица (Leslie et al., 2004; Schraa-Tam et al., 2012), что по своему смыслу близко к уже упомянутому выше механизму «сенсомоторной симуляции». Участие мозжечка как в социокогнитивных, так и в социоаффективных процессах может достигаться за счет взаимодействия с определенными функциональными системами, локализованными в пределах больших полушарий и включающими в себя сенсомоторную, лимбическую системы и ТОМ-систему (Van Overwalle, 2024).

Имеющиеся данные о характере мозговой активности, связанной с обеспечением деятельности

в условиях RMET, были дополнены с помощью особенностей анализа, не применявшегося в предыдущих исследованиях. А именно, результаты, полученные нами с учетом информации о направлении эффектов изменений BOLD-сигнала при сравнении двух условий, уточняют опубликованные ранее данные о вовлечении билатеральной задней части верхней и средней височных извилин в определение эмоций по сравнению с контрольным условием (Adams et al., 2010; Castelli et al., 2010; Gosch et al., 2024; Gunther Moor et al., 2012; Overgaauw et al., 2015; Thye et al., 2018b). В нашем исследовании активность данной области мозга в правом полушарии повышалась при определении эмоций, тогда как активность аналогичной области слева не менялась, а при определении возраста снижалась. В литературных данных также нет консенсуса в том, как рассматривать данный характер вовлечения задних отделов височной доли мозга. Согласно имеющимся представлениям, задние отделы средней и верхней височных извилин участвуют в обеспечении обработки зрительной информации о выражении лиц и обеспечивают ее передачу в систему зеркальных нейронов (Sabatinelli et al., 2011). При этом именно область в правом полушарии в большинстве нейровизуализационных исследований характеризуется повышением уровня локальной активности при восприятии эмоциональных выражений человеческих лиц (Andrews, Ewbank, 2004; Engell, Haxby, 2007; Narumoto et al., 2001). В контексте RMET-задания, только в некоторых из опубликованных фМРТ-исследований сообщается об изменении активности исключительно в правополушарной структуре. Например, активность в правой верхней височной извилине демонстрирует воспроизводимость результатов для одного испытуемого при повторных выполнениях задания RMET (Overgaauw et al., 2015). Также можно найти данные о том, что успешность выполнения RMET-задания положительно коррелировала с показателями фракционной анизотропии тракта крючковидного пучка именно правого полушария (Coat et al., 2020). В противоположность вышесказанному, в других работах с использованием RMET-задания отмечают изменения активности в задней части височной доли в левом, но не в правом полушарии (Kamashita et al., 2024; Thye et al., 2018b). Дополнительная информация о роли рассматриваемых областей в обеспечении процесса понимания эмоций была получена с помощью методов анализа функциональных взаимодействий (по данным фМРТ), анализа структурной МРТ и методов стимуляции мозга. В частности, плотность серого вещества в задней части верхней височной извилины левого полушария и параметры ее функциональной связности с миндалиной могут предсказывать результаты выполнения

RMET-задания (Yin et al., 2018). Также задние отделы верхней височной извилины в левом полушарии могут модулировать активность аналогичной области в правом полушарии. В недавнем исследовании с использованием транскраниальной магнитной стимуляции подавление активности области коры в районе верхней височной борозды левого полушария сопровождалось в два раза более выраженным снижением точности определения эмоциональных выражений лиц в сравнении с подавлением активности аналогичной области справа (Sliwinska et al., 2020). Таким образом, при использовании разработанного нами варианта RMET-задания было воспроизведено изменение функциональной активности в задней части верхней и средней височных извилин билатерально и уточнены характеристики режима их вовлечения в обеспечение процесса определения эмоциональных состояний.

Учет направления эффектов изменений BOLD-сигнала также позволил установить факт более выраженного снижения уровня локальной активности в медиальной префронтальной коре, предклинье и левой угловой извилине при определении эмоций (по сравнению с задачей по определению возраста). В фМРТ-исследованиях с использованием RMET-задания данная информация не указывается, но ее понимание критически важно для интерпретации полученных результатов, поскольку разница в уровне BOLD-сигнала между сравниваемыми условиями может быть связана с разным уровнем не только повышения, но и снижения активности отдельных структур мозга. Так, например, в исследовании Nolte и соавт. (Nolte et al., 2013) авторы сообщают о более высоком уровне активности в таких структурах, как области височного стыка билатерально и предклинье, при определении возраста (по сравнению с условием определения эмоций) и спекулируют о вовлечении данных структур в обработку числовой информации, хотя информация о направлении эффекта для каждой из структур представлена не была. С учетом того, что в рамках текущего исследования обнаружено вовлечение этих же структур, но для них продемонстрировано более выраженное снижение BOLD-сигнала, представляется более корректным атрибутировать выявленные области мозга как относящиеся к системе «дефолтной моды» мозга (default mode network, DMN). Данный эффект скорее связан с большей сложностью целевого задания по сравнению с контрольным, т.е. может отражать глобальные характеристики оппонентных отношений между работой исполнительных систем и дефолтной модой мозга (Hugdahl et al., 2015), а не процессы, специфически связанные с деятельностью, индуцируемой RMET-заданием. Это предположение подтверждается поведенческими данными нашего исследования,

свидетельствующими о большем времени реакции при определении эмоций по сравнению с определением возраста, что соответствует результатам имеющихся исследований с использованием различных вариаций RMET-задания, вне зависимости от контрольного условия (определение возраста, определение пола или их комбинация). Соответственно, различие для целевого и контрольного условий во времени реакции, вероятнее, связано со сложностью задания, что и получило отражение на уровне локальной активности в виде его увеличения в структурах DMN-сети.

Важно отметить, что полученные в настоящем исследовании результаты, дополняющие уже известные данные об изменениях BOLD-сигнала при выполнении RMET, могут быть связаны с рядом отличительных особенностей используемой в настоящем исследовании версии тестового задания. Во-первых, стимульный материал базы университета МакГилла, который использовался для тестового задания настоящего исследования, был создан на основании фотографий актеров, изображающих конкретное эмоциональное состояние, описанное одним прилагательным (Schmidtman et al., 2020). В оригинальном исследовании Baron-Cohen и соавт. в качестве стимульного материала RMET-теста были использованы изображения области глаз людей из газет и журналов, для которых затем были подобраны прилагательные для описания эмоции. Во-вторых, если в большинстве RMET-заданий, адаптированных для нейровизуализационных исследований, в качестве контрольного условия использовалось задание на определение пола, то в текущем исследовании было использовано задание на определение возраста. Это было сделано для того, чтобы использовать не два, а четыре варианта ответа как для экспериментального, так и для контрольного условий, что позволяет снизить вероятность простого угадывания правильного ответа (Simon Baron-Cohen et al., 2001).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты настоящего фМРТ-исследования с использованием русскоязычной модификации RMET-задания подтвердили вовлечение ключевых структур мозга, выявленных ранее для оригинальной версии теста: определение эмоций по сравнению с контрольным условием (определением возраста) связано с повышением функциональной активности в нижних лобных извилинах, дополнительной моторной области в обоих полушариях, левой прецентральной извилине и правых средней/верхней височных извилинах. Таким образом, указанная модификация RMET-задания может применяться для изучения мозгового обеспечения аффективного компонента системы ТОМ.

ВКЛАД АВТОРОВ

А.Д. Коротков, Д.В. Чередниченко, М.В. Киреев – концепция и руководство работой; М.А. Желтякова, А.Д. Мызников – проведение фМРТ-исследований; И.С. Князева, Р.С. Машарипов, А.Д. Мызников, М.В. Киреев, А.Д. Коротков – обсуждение результатов исследования; М.А. Желтякова, А.Д. Мызников – написание текста статьи; А.Д. Коротков, М.В. Киреев – редактирование текста статьи.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 23-18-00521.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Протокол исследования одобрен Комитетом по этике Института мозга человека им. Н.П. Бехтеревой РАН (протокол заседания №7 от 26.10.2023). Все добровольцы подписали информированное согласие на участие в исследовании.

УКАЗАНИЕ НА ДОСТУПНОСТЬ ПЕРВИЧНЫХ ДАННЫХ

При необходимости первичные данные могут быть запрошены у авторов статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александров Ю.И. Психофизиология, 3rd ed. Питер, СПб. 2007.
- Бурсов К.Г., Желтякова М.А., Мызников А.Д., Морошкина Н.В., Князева И.С., Машарипов Р.С., Коротков А.Д., Киреев М.В. Валидация русскоязычного аналога RMET: лингво-психологическое исследование для создания инструмента для нейровизуализационных исследований. Десятая Международная Конференция По Когнитивной Науке: Тезисы Докладов 2024. Десятая международная конференция по когнитивной науке, Пятигорск: 59–60.
- Румянцев Е.Е. Методика оценки психического состояния другого по выражению глаз. Психиатрия 2013. 59 (3): 30–36.

- Сахибалиева А.А., Прошутинский Е.О., Мершина Е.А., Печенкова Е.В. Чтение психического по глазам и голосу: разработка методик для фМРТ на русском языке, in: ПСИХОЛОГИЯ ПОЗНАНИЯ Материалы Конференции. Всероссийская Научная Конференция Памяти Дж. С. Брунера 2024. 336-340.
- Adams R.B., Rule N.O., Franklin R.G., Wang E., Stevenson M.T., Yoshikawa S., Nomura M., Sato W., Kveraga K., Ambady N. Cross-cultural reading the mind in the eyes: an fMRI investigation. *Journal of cognitive neuroscience*. 2010. 22(1): 97–108. <https://doi.org/10.1162/JOCN.2009.21187>
- Altschuler M., Sideridis G., Kala S., Warshawsky M., Gilbert R., Carroll D., Burger-Caplan R., Faja S. Measuring Individual Differences in Cognitive, Affective, and Spontaneous Theory of Mind Among School-Aged Children with Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2018. 48(11): 3945–3957. <https://doi.org/10.1007/S10803-018-3663-1/FIGURES/3>
- Andrews T.J., Ewbank M.P. Distinct representations for facial identity and changeable aspects of faces in the human temporal lobe. *Neuroimage*. 2004. 23(3): 905–913. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.07.060>
- Arioli M., Cattaneo Z., Ricciardi E., Canessa N. Overlapping and specific neural correlates for empathizing, affective mentalizing, and cognitive mentalizing: A coordinate-based meta-analytic study. *Human Brain Mapping*. 2021. 42(14): 4777–4804. <https://doi.org/10.1002/HBM.25570>
- Balgova E., Diveica V., Jackson R.L., Binney R.J. Overlapping neural correlates underpin theory of mind and semantic cognition: Evidence from a meta-analysis of 344 functional neuroimaging studies. *Neuropsychologia*. 2024. 200: 108904. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROPSYCHOLOGIA.2024.108904>
- Baron-Cohen S., Ring H.A., Wheelwright S., Bullmore E.T., Brammer M.J., Simmons A., Williams S.C.R. Social intelligence in the normal and autistic brain: An fMRI study. *European Journal of Neuroscience*. 1999. 11(6): 1891–1898. <https://doi.org/10.1046/J.1460-9568.1999.00621.X>
- Baron-Cohen Simon, Wheelwright S., Hill J., Raste Y., Plumb I. The "Reading the Mind in the Eyes" Test Revised Version: A Study with Normal Adults, and Adults with Asperger Syndrome or High-functioning Autism. *J. Child Psychol. Psychiat.* 2001. 42(2): 241–251.
- Bodden M.E., Kübler D., Knake S., Menzler K., Heverhagen J.T., Sommer J., Kalbe E., Krach S., Dodel R. Comparing the neural correlates of affective and cognitive theory of mind using fMRI: Involvement of the basal ganglia in affective theory of mind. *Advances in Cognitive Psychology*. 2013. 9(1): 32. <https://doi.org/10.2478/V10053-008-0129-6>
- Bora E. A meta-analysis of theory of mind and "mentalization" in borderline personality disorder: a true neuro-social-cognitive or meta-social-cognitive impairment? *Psychological medicine*. 2021. 51(15): 2541–2551. <https://doi.org/10.1017/S0033291721003718>
- Brothers L., Ring B. A Neuroethological Framework for the Representation of Minds. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 1992. 4(2): 107–118. <https://doi.org/10.1162/JOCN.1992.4.2.107>
- Castelli I., Baglio F., Blasi V., Alberoni M., Falini A., Liverta-Sempio O., Nemni R., Marchetti A. Effects of aging on mindreading ability through the eyes: An fMRI study. *Neuropsychologia*. 2010a. 48(9): 2586–2594. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROPSYCHOLOGIA.2010.05.005>
- Coad B.M., Postans M., Hodgetts C.J., Muhlert N., Graham K.S., Lawrence A.D. Structural connections support emotional connections: Uncinate Fasciculus microstructure is related to the ability to decode facial emotion expressions. *Neuropsychologia*. 2020. 145: 106562. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.11.006>
- Deng F., Bueber M.A., Cao Y., Tang J., Bai X., Cho Y., Lee J., Lin Z., Yang Q., Keshavan M.S., Stone W.S., Qian M., Yang L.H., Phillips M.R. Assessing social cognition in patients with schizophrenia and healthy controls using the reading the mind in the eyes test (RMET): a systematic review and meta-regression. *Psychological Medicine*. 2024. 54(5): 847–873. <https://doi.org/10.1017/S0033291723003501>
- Diveica V., Koldewyn K., Binney R.J. Establishing a role of the semantic control network in social cognitive processing: A meta-analysis of functional neuroimaging studies. *NeuroImage*. 2021. 245: 118702. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROIMAGE.2021.118702>
- Engell A.D., Haxby J.V. Facial expression and gaze-direction in human superior temporal sulcus. *Neuropsychologia*. 2007. 45(14): 3234–3241. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.06.022>
- Frith U. A new look at language and communication in autism. *International Journal of Language & Communication Disorders*. 1989. 24(2): 123–150. <https://doi.org/10.3109/13682828909011952>
- Giese M.A., Rizzolatti G. Neural and Computational Mechanisms of Action Processing: Interaction between Visual and Motor Representations. *Neuron*. 2015. 88(1): 167–180. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.040>
- Gosch S., Puhmann L.M.C., Lauckner M.E., Förster K., Kanske P., Wiesmann C.G., Preckel K. An fMRI study on alexithymia and affective state recognition in the Reading the Mind in the Eyes Test. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2024. 19(1): nsae058. <https://doi.org/10.1093/scan/nsae058>
- Greenberg D.M., Warriier V., Abu-Akel A., Allison C., Gajos K.Z., Reinecke K., Rentfrow P.J., Radecki M.A., Baron-Cohen S. Sex and age differences in "theory of mind" across 57 countries using the English version of the "Reading the Mind in the Eyes" Test.

- Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2023. 120(1): e2022385119.
https://doi.org/10.1073/PNAS.2022385119/SUPPL_FILE/PNAS.2022385119.SAPP.PDF
- Gunther Moor B., Op de Macks Z.A., Güroğlu B., Rombouts S.A.R.B., Van der Molen M.W., Crone E.A.* Neurodevelopmental changes of reading the mind in the eyes. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2012. 7(1): 44–52.
<https://doi.org/10.1093/SCAN/NSR020>
- Handley G., Kubota J.T., Li T., Cloutier J.* Black “Reading the Mind in the Eyes” task: The development of a task assessing mentalizing from black faces. *PLOS ONE*. 2019. 14(9): e0221867.
<https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0221867>
- Hartshorne J.K., Germine L.T.* When Does Cognitive Functioning Peak? The Asynchronous Rise and Fall of Different Cognitive Abilities Across the Life Span. *Psychological Science*. 2015. 26(4): 433–443.
<https://doi.org/10.1177/0956797614567339>
- Hess U., Blairy S.* Facial mimicry and emotional contagion to dynamic emotional facial expressions and their influence on decoding accuracy. *Int J Psychophysiol*. 2001. 40(2): 129–141.
[https://doi.org/10.1016/s0167-8760\(00\)00161-6](https://doi.org/10.1016/s0167-8760(00)00161-6)
- Hugdahl K., Raichle M.E., Mitra A., Specht K.* On the existence of a generalized non-specific task-dependent network. *Front. Hum. Neurosci*. 2015. 9:
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00430>
- Johnson B.N., Kivity Y., Rosenstein L.K., LeBreton J.M., Levy K.N.* The Association Between Mentalizing and Psychopathology: A Meta-Analysis of the Reading the Mind in the Eyes Task Across Psychiatric Disorders. *Clinical Psychology: Science and Practice*. 2022. 29(4): 423–439.
<https://doi.org/10.1037/CPS0000105>
- Kamashita R., Setsu R., Numata N., Koga Y., Nakazato M., Matsumoto K., Ando H., Masuda Y., Maral S., Shimizu E., Hirano Y.* Atypical social cognition processing in bulimia nervosa: an fMRI study of patients thinking of others’ mental states. *BioPsychoSocial Medicine*. 2024a. 18(1): 1–12.
<https://doi.org/10.1186/S13030-023-00297-Y/TABLES/4>
- Kim H.A., Kaduthodil J., Strong R.W., Germine L.T., Cohan S., Wilmer J.B.* Multiracial Reading the Mind in the Eyes Test (MRMET): An inclusive version of an influential measure. *Behavior Research Methods*. 2024. 1–18.
<https://doi.org/10.3758/S13428-023-02323-X/FIGURES/8>
- Koo S.J., Kim Y.J., Han J.H., Seo E., Park H.Y., Bang M., Park J.Y., Lee E., An S.K.* “Reading the Mind in the Eyes Test”: Translated and Korean Versions. *Psychiatry Investigation* 2021. 18(4): 295.
<https://doi.org/10.30773/PI.2020.0289>
- Leslie K.R., Johnson-Frey S.H., Grafton S.T.* Functional imaging of face and hand imitation: towards a motor theory of empathy. *Neuroimage*. 2004. 21(2): 601–607.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.09.038>
- Malatesta G., D’Anselmo A., Prete G., Lucafò C., Faieta L., Tommasi L.* The Predictive Role of the Posterior Cerebellum in the Processing of Dynamic Emotions. *Cerebellum*. 2024. 23(2): 545–553.
<https://doi.org/10.1007/s12311-023-01574-w>
- Mar R.A.* The Neural Bases of Social Cognition and Story Comprehension. *Annual Review of Psychology*. 2011. 62(1): 103–134.
<https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120709-145406>
- Masharipov R., Knyazeva I., Korotkov A., Cherednichenko D., Kireev M.* Comparison of whole-brain task-modulated functional connectivity methods for fMRI task connectomics. *Commun Biol*. 2024. 7(1): 1–21.
<https://doi.org/10.1038/s42003-024-07088-3>
- Molenberghs P., Cunnington R., Mattingley J.B.* Brain regions with mirror properties: a meta-analysis of 125 human fMRI studies. *Neurosci Biobehav Rev*. 2012. 36(1): 341–349.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.07.004>
- Molenberghs P., Johnson H., Henry J.D., Mattingley J.B.* Understanding the minds of others: A neuroimaging meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2016. 65: 276–291.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.03.020>
- Narumoto J., Okada T., Sadato N., Fukui K., Yonekura Y.* Attention to emotion modulates fMRI activity in human right superior temporal sulcus. *Brain Res Cogn Brain Res*. 2001. 12(2): 225–231.
[https://doi.org/10.1016/s0926-6410\(01\)00053-2](https://doi.org/10.1016/s0926-6410(01)00053-2)
- Nolte T., Bolling D.Z., Hudac C.M., Fonagy P., Mayes L., Pelphrey K.A.* Brain mechanisms underlying the impact of attachment-related stress on social cognition. *Front Hum Neurosci*. 2013. 7: 816.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00816>
- Oldfield R.C.* The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*. 1971. 9(1): 97–113.
[https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Overgaauw S., van Duijvenvoorde A.C.K., Gunther Moor B., Crone E.A.* A longitudinal analysis of neural regions involved in reading the mind in the eyes. *Soc Cogn Affect Neurosci*. 2015a. 10(5): 619–627.
<https://doi.org/10.1093/scan/nsu095>
- Pavlova M.A., Sokolov A.A.* Reading language of the eyes. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2022. 140: 104755.
<https://doi.org/10.1016/J.NEUBIOREV.2022.104755>
- Peñuelas-Calvo I., Sareen A., Sevilla-Llewellyn-Jones J., Fernández-Berrocal P.* The “Reading the Mind in the Eyes” Test in Autism-Spectrum Disorders Comparison with Healthy Controls: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2019. 49(3): 1048–1061.
<https://doi.org/10.1007/S10803-018-3814-4/FIGURES/5>
- Pierce J.E., Thomasson M., Voruz P., Selosse G., Péron J.* Explicit and Implicit Emotion Processing in the Cerebellum: A Meta-analysis and Systematic Review. *Cerebellum (London, England)*. 2022. 22(5): 852.
<https://doi.org/10.1007/s12311-022-01459-4>

- Premack D., Woodruff G.* Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behavioral and Brain Sciences*. 1978. 1(4): 515–526.
<https://doi.org/10.1017/S0140525X00076512>
- Preti A., Siddi S., Marzola E., Abbate Daga G.* Affective cognition in eating disorders: a systematic review and meta-analysis of the performance on the “Reading the Mind in the Eyes” Test. *Eating and Weight Disorders – Studies on Anorexia, Bulimia and Obesity*. 2022 27(7): 2291–2307.
<https://doi.org/10.1007/S40519-022-01393-8>
- Quidé Y., Wilhelmi C., Green M.J.* Structural brain morphology associated with theory of mind in bipolar disorder and schizophrenia. *PsyCh journal*. 2020. 9(2): 234–246.
<https://doi.org/10.1002/PCHJ.322>
- Rizzolatti G., Craighero L.* THE MIRROR-NEURON SYSTEM. *Annual Review of Neuroscience*. 2004. 27(Volume 27, 2004): 169–192.
<https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230>
- Sabatinelli D., Fortune E.E., Li Q., Siddiqui A., Krafft C., Oliver W.T., Beck S., Jeffries J.* Emotional perception: meta-analyses of face and natural scene processing. *Neuroimage*. 2011. 54(3): 2524–2533.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.10.011>
- Schmidtman G., Jennings B., Sandra D., Pollock J., Gold I.* The McGill Face Database: Validation and Insights Into the Recognition of Facial Expressions of Complex Mental States. *Perception*. 2020. 49: 1–20.
<https://doi.org/10.1177/0301006620901671>
- Schraa-Tam C.K.L., Rietdijk W.J.R., Verbeke W.J.M.I., Dietvorst R.C., van den Berg W.E., Bagozzi R.P., De Zeeuw C.I.* fMRI activities in the emotional cerebellum: a preference for negative stimuli and goal-directed behavior. *Cerebellum*. 2012. 11(1): 233–245.
<https://doi.org/10.1007/s12311-011-0301-2>
- Schurz M., Radua J., Aichhorn M., Richlan F., Perner J.* Fractionating theory of mind: A meta-analysis of functional brain imaging studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2014. 42: 9–34.
<https://doi.org/10.1016/J.NEUBIOREV.2014.01.009>
- Schurz M., Radua J., Tholen M.G., Maliske L., Margulies D.S., Mars R.B., Sallet J., Kanske P.* Toward a hierarchical model of social cognition: A neuroimaging meta-analysis and integrative review of empathy and theory of mind. *Psychol Bull*. 2021. 147(3): 293–327.
<https://doi.org/10.1037/bul0000303>
- Shamay-Tsoory S.G., Shur S., Barcai-Goodman L., Medlovich S., Harari H., Levkovitz Y.* Dissociation of cognitive from affective components of theory of mind in schizophrenia. *Psychiatry Research*. 2007. 149(1–3): 11–23.
<https://doi.org/10.1016/J.PSYCHRES.2005.10.018>
- Simon M., Németh N., Gálber M., Lakner E., Csernel E., Tényi T., Czéh B.* Childhood Adversity Impairs Theory of Mind Abilities in Adult Patients With Major Depressive Disorder. *Frontiers in Psychiatry*. 2019. 10(2): 471216.
<https://doi.org/10.3389/FPSYT.2019.00867/BIBTEX>
- Sliwinska M.W., Elson R., Pitcher D.* Dual-site TMS demonstrates causal functional connectivity between the left and right posterior temporal sulci during facial expression recognition. *Brain Stimul*. 2020. 13(4): 1008–1013.
<https://doi.org/10.1016/j.brs.2020.04.011>
- Stafford O., Gleeson C., Egan C., Tunney C., Rooney B., O’Keeffe F., McDermott G., Baron-Cohen S., Burke T.* A 20-Year Systematic Review of the ‘Reading the Mind in the Eyes’ Test across Neurodegenerative Conditions. *Brain Sciences*. 2023. 13(9): 1268.
<https://doi.org/10.3390/BRAINSCI13091268/S1>
- Thye M.D., Bednarz H.M., Herringshaw A.J., Sartin E.B., Kana R.K.* The impact of atypical sensory processing on social impairments in autism spectrum disorder. *Dev Cogn Neurosci*. 2018a. 29: 151–167.
<https://doi.org/10.1016/j.dcn.2017.04.010>
- Thye M.D., Murdaugh D.L., Kana R.K.* Brain Mechanisms Underlying Reading the Mind from Eyes, Voice, and Actions. *Neuroscience*. 2018b. 374: 172–186.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2018.01.045>
- Tollenaar M.S., Overgaauw S.* Empathy and mentalizing abilities in relation to psychosocial stress in healthy adult men and women. *Heliyon*. 2020. 6(8): e04488.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04488>
- Van Overwalle F.* Social and emotional learning in the cerebellum. *Nat. Rev. Neurosci*. 2024. 1–16.
<https://doi.org/10.1038/s41583-024-00871-5>
- Van Overwalle F.* Social cognition and the brain: A meta-analysis. *Human Brain Mapping* 2009. 30(3): 829–858.
<https://doi.org/10.1002/HBM.20547>
- Van Overwalle F., Haihambo N., Ma Q., Li M., Martínez-Regueiro R., Argoubi I., Firouzi M., Deroost N., Baeken C., Baetens K.* Cerebellar non-invasive stimulation of social and emotional mentalizing: A meta-analysis. *Imaging Neuroscience*. 2024.
https://doi.org/10.1162/imag_a_00334
- Van Overwalle F., Manto M., Cattaneo Z., Clausi S., Ferrari C., Gabrieli J.D.E., Guell X., Heleven E., Lupo M., Ma Q., Michelutti M., Olivito G., Pu M., Rice L.C., Schmahmann J.D., Siciliano L., Sokolov A.A., Stoodley C.J., van Dun K., Vandervert L., Leggio M.* Consensus Paper: Cerebellum and Social Cognition. *Cerebellum*. 2020. 19(6): 833–868.
<https://doi.org/10.1007/s12311-020-01155-1>
- Vucurovic K., Caillies S., Kaladjian A.* Neural correlates of theory of mind and empathy in schizophrenia: An activation likelihood estimation meta-analysis. *Journal of Psychiatric Research*. 2020. 120: 163–174.
<https://doi.org/10.1016/J.JPSYCHIRES.2019.10.018>
- Woolley A.W., Aggarwal I., Malone T.W.* Collective Intelligence and Group Performance. *Current Directions in Psychological Science*. 2015. 24(6): 420–424.
<https://doi.org/10.1177/0963721415599543>
- Yin S., Fu C., Chen A.* The structural and functional correlates underlying individual heterogeneity of reading the mind in the eyes. *Biol Psychol*. 2018. 138: 179–184.
<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2018.09.009>

BRAIN ACTIVITY DURING EMOTION RECOGNITION FROM EYE EXPRESSIONS

M. A. Zheltyakova^a, A. D. Myznikov^a, A. D. Korotkov^{a, #}, I. S. Knyazeva^a,
R. S. Masharipov^a, D. V. Cherednichenko^a, M. V. Kireev^{a, b}

^a*N.P. Bechtereva Institute of the Human Brain, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*

^b*Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

[#]*e-mail: korotkov@ihb.spb.ru*

In the current study, we conducted a psychophysiological approbation of the previously developed Russian-language version of the Reading the Mind in the Eyes Test (RMET) using functional magnetic resonance imaging (fMRI). In the statistical analysis, we included 40 subjects (13 males/27 females, mean age 22.5 ± 3.2 years). As a result, reproducible RMET-associated increases in the level of local neuronal activity compared to a control condition (age recognition) were found for a variety of brain structures that previously have shown to be involved in providing processes for affective state recognition from eye expression, including the inferior frontal gyrus, the supplementary motor cortex of both hemispheres, left precentral gyrus, and right middle/upper temporal gyrus. At the same time, the current work demonstrated new data about cerebellum and thalamus involvement in affective state recognition compared with age recognition during the RMET task, which was reported in isolated studies. Additionally, new effects of changes in local neuronal activity during the recognition of affective states have been observed. These findings clarify the role of the medial prefrontal cortex, precuneus, left angular gyrus, and left middle/upper temporal gyrus in understanding the internal emotional and mental states of others. As a result of the fMRI study, the new Russian-language version of the RMET task was successfully tested. This approbation provided additional data that enhances our understanding of the brain structures involved in the affective aspects of mentalization-related processes.

Keywords: fMRI, Theory of Mind, RMET, affective state recognition