

Нейрофизиологические механизмы эмоционального интеллекта

Н.А. Чипеева[✉]

НИИ развития мозга и высших достижений, Российский университет дружбы народов
имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия

[✉] Nadezda.Chipeeva@ya.ru

Аннотация

Обоснование: Эмоциональный интеллект (ЭИ) наряду с общим интеллектом взаимосвязан с академической успешностью, социальным и межличностным общением, что делает проблему изучения ЭИ актуальной в контексте междисциплинарных исследований с использованием методов нейровизуализации и проливает свет на психофизиологическую проблему. **Цель:** обзор и анализ исследований, посвященных проблеме конструкта эмоционального интеллекта и нейронных путей, обеспечивающих функционирование этого вида интеллекта. **Теоретические основы:** нарративный обзор опубликованных результатов оригинальных исследований и систематических научных обзорных статей с использованием поисковой системы Google Scholar. **Результаты.** Исследования показывают, что эмоциональный интеллект базируется на общих системах мозга, которые участвуют в реализации психических функций. Эмоциональный интеллект связан с активностью крупномасштабных нейронных сетей мозга, в которые вовлечены не только корковые регионы мозга, но и субкортикальные области, связанные с обработкой эмоционально значимых стимулов, формированием аффективного ответа и регуляцией эмоциональных процессов. Исследования полного конструкта эмоционального интеллекта (измеренного с использованием теста или методики самоотчета) также показывают вовлеченность нейронных сетей покоя в реализацию этого вида интеллекта. Траектория развития эмоционального интеллекта отличается от развития общего интеллекта, что, вероятно, связано как с накоплением индивидуального эмоционального опыта в течение жизни и с социокультурными особенностями, так и с изменениями функционирования структур мозга и нейронных сетей в течение жизни. **Заключение.** Проведенный анализ позволяет более полно представить взаимосвязь нейронных сетей покоя и эмоционального интеллекта. Однако очевидно, что исследований полного конструкта эмоционального интеллекта, измеренного с использованием тестов и самоотчетов, и его взаимосвязей с крупномасштабными сетями покоя, а также глобальными характеристиками функциональной связанности мозга, недостаточно, что, таким образом, делает это направление исследований перспективным для науки.

Ключевые слова: эмоциональный интеллект, эмоции, регуляция эмоций, нейронные сети, функциональная связанность покоя

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Чипеева Н.А. Нейрофизиологические механизмы эмоционального интеллекта // Психология. Психофизиология. 2023. Т. 16, № 3. С. 65–74. DOI: 10.14529/jpps230306

Neurophysiological foundations of emotional intelligence

N.A. Chipeeva[✉]

Research Institute for brain development and peak performance, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia

[✉]Nadezda.Chipeeva@ya.ru

Abstract

Introduction. Emotional intelligence (EI), as well as cognitive intelligence, relates to academic success and social and interpersonal communication. The problem of studying EI is topical in the boundaries of neuroscience abilities research using neuroimaging methods and sheds light on the psychophysiological problem. **Aims.** This paper presents a review and analysis of the literature about emotional intelligence and the neural pathways responsible for it. **Theoretical basis:** a narrative overview of published original research and review articles indexed in Google Scholar. **Results.** EI is based on the brain systems that are engaged in mental functions and associated with the activity of large-scale networks and global characteristics of functional connectivity. These networks embrace the neuronal ensembles of cortical and subcortical regions associated with the perception and recognition of emotions, as well as the generation of affective responses and regulation of emotions. Neuroimaging studies of EI (measured by the test or the self-report method) also demonstrate the involvement of resting-state networks. EI development differs from that of cognitive intelligence. A possible reason for that can be associated with the accumulation of individual emotional experience and sociocultural context and the changes related to brain structures and neural networks during lifespan. **Conclusion:** This paper provides a better understanding of the relationship between resting-state neural networks and EI. However, comprehensive research on EI and its relationship to large-scale resting networks as well as the global characteristics of functional connectivity is insufficient. Thus, this area of research is promising for science.

Keywords: emotional intelligence, emotions, emotional regulation, brain networks, resting-state functional connectivity

The author declares no conflict of interest.

For citation: Chipeeva N.A. Neurophysiological foundations of emotional intelligence. *Psikhologiya. Psikhofiziologiya = Psychology. Psychophysiology.* 2023;16(3):65–74. (in Russ.) DOI: 10.14529/jpps230306

Введение

Множество научных работ в области исследования индивидуальных различий посвящено интеллекту и когнитивным способностям [1, 2]. В то же время особую роль наряду с интеллектом играет эмоциональный интеллект (далее – ЭИ) [3], связанный с важными аспектами социального и межличностного общения, психическим здоровьем, а также с академическими достижениями [4]. Современные концепции под ЭИ понимают predisposedность личности (или черту личности) или способность точно воспринимать, понимать и рассуждать об эмоциональной информации, эффективно регулировать эмоциональные процессы, а также применять полученную информацию для улучшения когнитивных и поведенческих показателей [5]. Исследования с использованием методов ней-

ровизуализации показывают, что функционирование эмоциональной сферы психики достигается за счет согласованного действия различных структур мозга, образующих нейронные сети мозга [6]. В данной статье представлен обзор исследований, посвященных нейробиологическим механизмам ЭИ.

Сетевой подход в исследовании мозга и эмоциональной сферы

Реализация психических функций достигается за счет синхронной активности ансамблей нейронов – нейронных сетей [7, 8]. Такая активация описывается термином «связанность» или «коннективность» (brain connectivity). Функциональная связанность (functional connectivity) предполагает ритмическую синхронизацию анатомически удаленных участков мозга, за счет которых пере-

дается поток информации между отдельными нейронными ансамблями и координируется коммуникация между регионами мозга [9]. В интерпретации данных нейровизуализации функциональной связанности используются два методологических подхода: Large-scale network (где используются фМРТ-данные участков коры и подкорковых структур и интерпретируются как крупномасштабные нейронные сети) и графы (метод связан с анализом глобальных топологических характеристик нейронной активности всего мозга с использованием математической теории граф) [10]. Наиболее эффективная топология нейронных сетей мозга обеспечивает быструю передачу информационного потока с меньшими затратами энергии (metabolic cost) [11]. В отношении когнитивных способностей и интеллекта гипотеза нейрональной эффективности объясняет высокую скорость когнитивных функций эффективной топологией нейронных сетей, функционирующих с меньшими энергозатратами [12].

Функционирование процессов понимания, регуляции и порождения эмоций (составляющих конструкт ЭИ) также связано с активностью нейронных сетей и их глобальной топологией, которая охватывает как кортикальные, так и субкортикальные отделы головного мозга [6]. Следует отметить, что современные концепции не связывают эмоции с врожденными «базовыми» программами реагирования [13], а, скорее, представляют изменчивыми конструкциями, обусловленными контекстом ситуации, индивидуальными и культурными концепциями [14]. Определенные эмоции также не отражают взаимосвязь с каким-то одним регионом мозга, но представлены в виде сложных распределенных мозговых конфигураций нейронных сетей [15]. Восприятие эмоций и эмоциональный опыт основывается на более базовых процессах, которые включают: 1) основные аффекты (core affect) или чувствительность от ощущений тела (репрезентация interoцептивных рецепторов); 2) ощущения от окружающего мира (экстероцептивная рецепция), которые ассоциируются с прошлым эмоциональным опытом [6]. Нейронный базис реализации ЭИ в рамках конструктивистских теорий эмоций может быть представлен с помощью теории «Предиктивного кодирования / предиктивной обработки» (Predictive Coding / Predicting Processing) [16]. Это теория предполагает способность мозга производить корректировку выполнения задачи

через процессы «минимизации ошибки предсказания» (prediction-error minimization) и достигается за счет иерархически обустроенной внутренней модели мира, поддерживаемой мозгом. С помощью этой модели возможно «предсказать» сет поступающих сигналов о телесных изменениях (положении тела, внутренних органов, других регионов мозга и т. д.) и изменениях в окружающей среде. Когда происходит предиктивная ошибка, генерируется «сигнал предиктивной ошибки» (prediction-error signal), который способствует пересмотру внутренней модели мира, для нового учета текущей информации о внутреннем состоянии и окружающей среде [17]. Предиктивная возможность систем мозга и синхронное функционирование крупномасштабных нейронных сетей мозга обеспечивает поддержание процессов, входящих в конструкт ЭИ (восприятия, понимания, порождения аффективного ответа и регуляции эмоций) [18, 19].

Можно выделить следующие крупномасштабные нейронные сети, вовлеченные в эмоционально-аффективную сферу и связанные с конструктом ЭИ [20]: 1) лимбическая сеть (LN – Limbic network) связана с аффективным опытом и восприятием эмоций, автобиографической памятью и мотивированным поведением. Эта сеть участвует в генерации основного аффекта: представлении висцеромоторных состояний из прошлого опыта или вовлечение висцеромоторного контроля тела для создания основного аффективного тона (удовольствия или неудовольствия), который является основной характеристикой всего сознательного опыта и который регулирует основные направления для дальнейшего поведения; 2) сеть салиентности (SN – salience network) связана с эмоциональным опытом и восприятием эмоциональных стимулов. Эта сеть участвует в процессах внимания, направленных на тело: репрезентации телесных переживаний для управления поведением. SN может быть разделена на две подсети: вентральную переднюю островковую сеть (ventral anterior insula network), которая репрезентует телесные состояния, и дорсальную переднюю островковую сеть (dorsal anterior insula network), которая использует телесные состояния для управления вниманием и поведением; 3) сеть пассивного режима работы мозга/ дефолтная сеть (DMN – default mode network) связана с эмоциональными концепциями, также представлена двумя подсетями.

Передняя часть пассивного режима работы мозга (Anterior DMN) взаимосвязана с автобиографической памятью [21]. Задняя часть сети пассивного режима работы мозга (Posterior DMN) связана с памятью и оценкой эмоциональной валентности [22]; 4) лобно-теменная сеть или сеть исполнительного контроля (FPCN – frontoparietal control network / CEN – control executive network) участвует в процессах переключения с одной задачи на другую, в процессах рабочей памяти и регуляции эмоций. Исполнительный контроль модулирует активность в других сетях для создания единого сознательного поля (например, выбор одного концептуального содержания эмоции и подавление другого или выбор одних эмоциональных стимулов для сознательного восприятия и подавление других); 5) дорсальная сеть внимания (DLN – dorsal attention network) участвует в нисходящем контроле зрительно-пространственного внимания, модулирует активность в экстероцептивных сенсорных областях (например, для того, какие зрительные ощущения выбраны для сознательного восприятия и подавления других); 6) сенсомоторная сеть (SMN – sensorimotor network) участвует в аудиальных процессах и соматовисцеральной чувствительности, экстероцептивном сенсорном восприятии (представление слуховых и тактильных ощущений); 7) визуальная сеть (VN – visual network) взаимосвязана со зрительными процессами и экстероцептивным сенсорным восприятием; 8) базальные ганглии/ лимбическая сеть (BGN – Basal ganglia / LN – limbic network), активирующиеся во время поощрительных и эмоциональных заданий; 9) сеть вознаграждения за обучение (Reward Learning) активируется во время поощрительных и эмоциональных заданий [23].

**Структурные компоненты ЭИ:
процессы распознавания
и понимания эмоций, порождения
и регуляции эмоций**

Процесс распознавания и понимания эмоций. В реальной жизни распознавание и понимание эмоций, а также формирование аффективной реакции носит неоднозначный и часто амбивалентный характер [24]. Во многом это связано с усвоенными ранее «эмоциональными концепциями», то есть с накопленным эмоциональным опытом индивида [25,

26]. Эмоции (страх, радость и т. д.) могут быть рассмотрены с точки зрения концептуальных или понятийных категорий. Эти концепции взаимосвязаны с контекстом как на личностном индивидуальном уровне, так и на ситуационном и культурном уровнях [27] и могут порождать разные эмоциональные реакции [28]. Способность распознавать эмоции требует релевантных сенсорных стимулов, полученных в результате перцептивных процессов, которые могут быть соотнесены с той или иной эмоциональной категорией [29]. Распознавание собственных эмоций и эмоций других индивидов взаимосвязано и зависит от контекста ситуации и усвоенных ранее эмоциональных концепций [25]. В рамках модели предиктивного кодирования мозг получает входящий сет релевантных стимулов от сенсорных систем (например, восприятие выражения лица, тона голоса, позы тела), которые индуцируют сигнал предиктивной ошибки, после чего внутренняя модель мира пересматривается с учетом уже существующих эмоциональных концепций и контекста [30, 31].

Процессы понимания и распознавания эмоций протекают в двух направлениях: в отношении собственных эмоций индивида и эмоций других людей [32].

В распознавании и понимании персональных эмоций задействованы процессы проприоцепции (изменения положения собственного тела, выражения лица, тона голоса), процессы интероцептивной чувствительности (связанные с изменениями в работе внутренних органов и систем организма). Сенсорные стимулы, поступающие из этих систем, связаны с работой сети SMN [33]. Сеть SN участвует в процессах обработки информации о положении тела в пространстве для направления внимания на эмоционально значимые стимулы [34]. Сеть LN обеспечивает висцеромоторные реакции [35]. В процессе восприятия и распознавания эмоций других индивидов происходит восприятие входящих сенсорных стимулов с участием экстероцептивной системы чувствительности, которая участвует в восприятии изменений в интонации голоса, позы тела, выражения лица других индивидов, в которую вовлечены области, связанные с обработкой визуальных и аудиальных стимулов [36].

Полученные первичные перцептивные представления о собственных эмоциях и эмоциях других индивидов через процессы «минимизации ошибки» изменяются на более вы-

соком репрезентативном уровне «концептуализации эмоций». Этот процесс взаимосвязан с сетью DMN. Опираясь на процессы долговременной памяти, сеть DMN выполняет функцию присваивания первичным эмоциональным перцептам контекстуального значения [37]. Структуры сети DMN также связаны с осознанными и неосознанными процессами распознавания эмоциональных состояний [38].

Аффективная реакция. Процесс генерирования аффективного ответа (индивидуальной эмоциональной реакции) происходит в результате оценивания ситуации («ситуационной оценки»). Теории оценки предполагают, что эмоции возникают в результате оценивания поступающей сенсорной информации (интероцептивной и экстероцептивной систем) на предмет новизны, согласованности цели и мотивации, совместимости норм морали и ценностям, и таким образом могут изменять последующие эмоциональные реакции индивида [39, 40]. В рамках модели предиктивного кодирования оценку ситуации и генерацию аффективного ответа можно рассматривать как первый вероятностный вывод о наиболее вероятной ситуации. Обновление оценки ситуации будет инициировать последующий паттерн внутренних и внешних изменений, основанных на ожидаемых требованиях ситуации, вытекающих из этих оценок, что и представляет собой аффективный ответ [41]. В оценку и формирование эмоциональной реакции вовлечены те же нейронные сети (прежде всего DMN и LN), которые вовлечены в процессы понимания и узнавания эмоций. Но оценка и аффективная реакция включают в себя прежде всего концептуализацию ситуации и нисходящие новые интеро-проприоцептивные предикты, которые через минимизацию ошибки ведут к телесным изменениям и модулируют изменения когнитивных процессов [18].

Регуляция эмоций. Регуляция эмоциональных реакций взаимосвязана с когнитивными функциями внимания, памяти, исполнительного контроля [18]. *Автоматическое внимание* (bottom-up attention) взаимосвязано с ориентацией и реакцией на существенные для организма стимулы. Сеть SN обеспечивает обработку субъективно эмоционально значимых стимулов и является ключевой нейронной сетью, обеспечивающей переключение работы мозга из дефолт-режима активации сети DMN в режим активации сети CEN

исполнительного контроля при выполнении какого-либо действия, где требуется внимание [42]. Исполнительный контроль начинает играть важную роль тогда, когда эмоционально значимые стимулы становятся сознательно доступными и поддерживаемыми в *рабочей памяти* [43]. *Осознаваемые и неосознаваемые эмоции и нисходящее избирательное внимание* (top-down attention). В мозг поступает большое количество информации, и только лишь часть этой информации становится доступной сознанию [44]. Бессознательное восприятие эмоциональной информации происходит за счет нейронной активности в подкорковых структурах (двухолмия, таламуса и миндалины), не затрагивая кору и визуальный кортекс, которые задействованы при сознательном восприятии [45]. Конкуренция между различными эмоциональными стимулами за доступ в сознание зависит от силы и длительности сенсорного стимула и наличия и направления процессов нисходящего избирательного внимания. Когда содержание воспринимаемых стимулов становится доступным сознанию, этот процесс становится взаимосвязанным с увеличением активации во фронтальных и теменных ассоциативных зонах коры, включенных в сеть CEN, которая поддерживает и усиливает выбранное представление и распространяет его содержание остальным областям мозга [35].

Исследования взаимосвязи общего конструкта ЭИ и нейронных сетей покоя

Исследования взаимосвязи нейронных структур и общего конструкта ЭИ (измеренного с помощью теста или самоотчета) немногочисленны. Takeuchi и соавторы [46] одними из первых провели исследование взаимосвязи нейронных сетей покоя и ЭИ. Высокие показатели ЭИ связаны с активностью в медиальных частях сети DMN. Участники с более высоким ЭИ показывали отсутствие взаимосвязи с положительными корреляциями между DMN и сетью режима целевой активности (TPN – task positive network). Отрицательные корреляции между этими нейронными сетями связывают с нормотипичным развитием когнитивных способностей [47], отсутствие отрицательных связей может быть связано с аффективными расстройствами [48]. В исследовании Pan с соавторами (2014) общий показатель ЭИ отрицательно коррелиро-

вал с активностью в веретенообразной извилине и орбитофронтальной коре, которые являются частью эмоциональной нейронной сети, вовлеченной в восприятие экспрессии лица. Веретенообразная извилина отсылает эмоционально окрашенную информацию в миндалину и орбитофронтальную кору и также может получать обратную связь от этих структур [49]. Учитывая, что эти структуры связаны с обработкой негативных эмоций, предполагается, что низкие показатели ЭИ взаимосвязаны с более сильной активацией в этих областях, что косвенно подтверждается исследованиями взаимосвязи депрессивных расстройств и ЭИ [50]. Также были найдены позитивные взаимосвязи ЭИ с нижней лобной извилиной и нижней теменной долькой, которые являются частью системы зеркальных нейронов [51] и связаны с нейронной сетью социальной когниции (social cognition network) наряду с миндалиной, передней поясной корой и передним островком. Были найдены положительные взаимосвязи показателей ЭИ и дополнительной моторной (SMA) и преддополнительной моторной областями (pre-SMA) и правым предклиньем, а также негативные взаимосвязи с мозжечком. Эти области являются ключевыми узлами нейронной сети когнитивного контроля (cognitive control network), включены в процессы переключения задач и ингибирование реакции [52], а также вовлечены в оценку эмоциональных реакций и обнаружение эмоциональных конфликтов [53]. Killgore с соавторами [23] выявили взаимосвязи ЭИ и с функциональной связанностью как внутри нейронных сетей, так и межсетевой связанностью. Низкие показатели ЭИ были связаны с сетью базальных ганглиев (BGN), сильные антикорреляции были найдены между высокими показателями ЭИ и задней частью сети DMN. Также были найдены взаимосвязи между межсетевой связанностью и показателями ЭИ: 1) передняя часть сети DMN и сеть базальных ганглиев (A-DMN и BGN): частичные корреляции между этими сетями отрицательно взаимосвязаны с общим показателем ЭИ и шкалой восприятия эмоций; 2) сеть базальных ганглиев и задняя часть сети DMN (BGN и P-DMN): отрицательные частичные корреляции связаны с общим показателем ЭИ и шкалой управления эмоциями.

В исследовании взаимосвязи сетей покоя, ЭИ и эмоциональной регуляции было

показано, что повышенная активность BOLD-сигнала в пределах сети SMN и лингвистической сети (linguistic network) предсказывает высокий уровень ЭИ и одновременно частоту использования когнитивной переоценки в качестве одной из стратегий эмоциональной саморегуляции. С ЭИ также были связаны процессы активации в сети мозжечка (cerebellum network), визуальной сети (visual network). Эти взаимосвязи показывают, что высокие показатели ЭИ, связанные также высоким когнитивным контролем эмоций, связаны с активностью в корковых отделах [54].

Соотношение траекторий развития и нейронного базиса эмоционального и общего интеллекта. Общий интеллект и ЭИ взаимосвязаны, так как регуляторный компонент ЭИ опирается на когнитивные процессы памяти, внимания и исполнительного контроля [55]. Однако развитие этих видов интеллекта происходит по разным траекториям. Общий интеллект и когнитивные функции развиваются последовательно, достигая пика в среднем до двадцати лет, затем происходит постепенное снижение некоторых аспектов когнитивных функций уже между 20 и 30 годами [56]. Возрастным изменениям подвержены почти все показатели когнитивных функций (мышление, память и т. д.), за исключением словарного запаса, который, скорее, отражает сумму накопленных знаний, связанных с кристаллизовавшимся интеллектом [57]. ЭИ остается в большей сохранности и может достигать пика развития в более позднем возрасте. Пожилые люди показывают большую эмоциональную устойчивость, эмоциональный контроль и стабильность [58]. Различия в траекториях развития также отражаются в возрастных изменениях в мозговых структурах, участвующих в реализации этих двух видов интеллекта [59]. Изменения в толщине коры касаются в меньшей степени вентромедиальной префронтальной коры и передней поясной коры, которые связаны с эмоциональной регуляцией, и орбитофронтальной коры, вовлеченной в эмоциональный вклад в социальное поведение и процесс принятия решений, по сравнению с возрастными изменениями в дорзальном и латеральном кортексе, участвующем в реализации когнитивных функций. Вопрос о возрастных потерях в объеме миндалины, связанной с восприятием эмоциональной информации, неодно-

значен, однако значимых подтверждений о потере объема нет. Связанность между миндалиной и вентромедиальной корой у пожилых респондентов больше связана с позитивным аффектом, по сравнению с более молодыми респондентами. Островковая кора, связанная с ощущением боли, эмпатией, вероятно, теряет некоторый объем в связи с процессами старения. Кроме этого, этот регион является ключевым узлом сети SN, которая показывает снижение функциональной связанности у возрастных респондентов по сравнению с более молодыми респондентами [60]. Таким образом, можно отметить, что в структурах, связанных с восприятием, обработкой и регуляцией эмоциональных процессов, происходят умеренные возрастные изменения. Исследование нейронных сетей пока также показывает различия в глобальных характеристиках нейронных сетей, вовлеченных в общий и эмоциональный интеллект среди молодой когорты испытуемых и у испытуемых более зрелого возраста. Нейронные сети респондентов более молодого возраста (от 18 до 33 лет) характеризуются позитивной связью показателя глобальной эффективности и общего интеллекта. В то время как у респондентов более зрелого возраста (с 36 до 64 лет) более низкая глобальная эффективность предсказывает более высокий общий интеллект. И наоборот, ЭИ негативно связан с глобальной эффективностью в более молодом возрасте и позитивно – в более зрелом. Глобальная эффективность отражает среднюю обратную длины кратчайшего пути в сети и обратно пропорциональная характеристической длине пути, то есть среднему кратчайшему расстоянию. Характер взаимосвязей нейронной эффективности у молодой возрастной группы, вероятно, связан с параллельной обработкой информационных пото-

ков и интеграцией нейронных процессов в этом возрасте. В то же время положительные взаимосвязи нейронной эффективности у возрастной группы, вероятно, связаны с расширенным межсетевым взаимодействием нейронных сетей (таких как сенсомоторная сеть, лимбическая сеть, переднетеменная сеть и дефолтная сеть), вовлеченных в функционирование ЭИ [61].

Заключение

Эмоциональный интеллект – это сложный конструкт, нейронным базисом которого является функциональное взаимодействие между областями коры и подкорковых структур, которые функционируют как широко распределенные нейронные сети, активирующиеся в контексте определенного момента или ситуации в ответ на эмоционально значимые стимулы или в состоянии спокойного бодрствования. Траектория развития эмоционального интеллекта отличается от развития общего интеллекта, поскольку связана, с одной стороны, с различным временем созревания структур мозга и накоплением социального и эмоционального опыта – с другой. Накопленный социальный опыт и эмоционально-смысловые концепции, усваиваемые через социальные ситуации и культуру, также обеспечивают развитие эмоционального интеллекта в течение жизни. Последняя особенность эмоционального интеллекта отчасти роднит его с конструктом кристаллизованного интеллекта, который связан с накопленными в течение жизни знаниями, умениями и навыками. Нейробиологические и психологические исследования конструкта эмоционального интеллекта могут дополнить общие знания о функционировании мозга, интеллекта, адаптации психики, а также социальных взаимодействий.

Список источников / References

1. Geary D.C. Cognitive predictors of achievement growth in mathematics: A 5-year longitudinal study. *Developmental Psychology*. 2011;47(6):1539–1552. DOI: <https://doi.org/10.1037/a0025510>
2. Tikhomirova T., Malykh A., Malykh S. Predicting Academic Achievement with Cognitive Abilities: Cross-Sectional Study across School Education. *Behavioral Sciences*. 2020;10(10):158. DOI: <https://doi.org/10.3390/bs10100158>
3. Adetula G.A. Emotional, Social, and Cognitive Intelligence as Predictors of Job Performance Among Law Enforcement Agency Personnel. *Journal of Applied Security Research*. 2016 Apr 2;11(2):149–65. DOI: <https://doi.org/10.1080/19361610.2016.1137175>
4. MacCann C., Jiang Y., Brown L.E.R. et al. Emotional intelligence predicts academic performance: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*. 2020;146(2):150–186. DOI: <https://doi.org/10.1037/bul0000219>

5. Salovey P., Mayer J.D. Emotional Intelligence. *Imagination, Cognition and Personality*. 1990;9(3):185–211. DOI: <https://doi.org/10.2190/DUGG-P24E-52WK-6CDG>
6. Lindquist K.A., Wager T.D., Kober H. et al. The brain basis of emotion: A meta-analytic review. *Behavioral and Brain Sciences*. 2012;35(3):121–143. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0140525X11000446>
7. Beckmann C.F., DeLuca M., Devlin J.T., Smith S.M. Investigations into resting-state connectivity using independent component analysis. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 2005;360(1457):1001–1013. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1634>
8. van de Ven V.G., Formisano E., Prvulovic D. et al. Functional connectivity as revealed by spatial independent component analysis of fMRI measurements during rest. *Human Brain Mapping*. 2004;22(3):165–178. DOI: <https://doi.org/10.1002/hbm.20022>
9. Rubinov M., Sporns O. Complex network measures of brain connectivity: Uses and interpretations. *NeuroImage*. 2010;52(3):1059–1069. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.10.003>
10. Bullmore E., Sporns O. Complex brain networks: graph theoretical analysis of structural and functional systems. *Nature Reviews Neuroscience*. 2009;10(3):186–198. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrn2575>
11. Kostal L., Lansky P., McDonnell M.D. Metabolic cost of neuronal information in an empirical stimulus-response model. *Biological Cybernetics*. 2013;107(3):355–365. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00422-013-0554-6>
12. Haier R.J., Jung R.E., Yeo R.A. et al. Structural brain variation and general intelligence. *NeuroImage*. 2004;23(1):425–433. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.04.025>
13. Ekman P., Cordaro D. What is Meant by Calling Emotions Basic. *Emotion Review*. 2011;3(4):364–370. DOI: <https://doi.org/10.1177/1754073911410740>
14. Barrett L.F., Adolphs R., Marsella S. et al. Emotional expressions reconsidered: challenges to inferring emotion from human facial movements. *Psychological Science in the Public Interest*. 2019;20(1):1–68. DOI: <https://doi.org/10.1177/1529100619889954>
15. Kragel P.A., LaBar K.S. Decoding the Nature of Emotion in the Brain. *Trends in Cognitive Sciences*. 2016;20(6):444–455. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.03.011>
16. Friston K. The free-energy principle: a unified brain theory? *Nature Reviews Neuroscience*. 2010;11(2):127–138. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrn2787>
17. Nave K., Deane G., Miller M., Clark A. Wilding the predictive brain. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science* 2020;11(6). DOI: <https://doi.org/10.1002/wcs.1542>
18. Smith R., Killgore W.D.S., Alkozei A., Lane R.D. A neuro-cognitive process model of emotional intelligence. *Biological Psychology*. 2018;139:131–51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2018.10.012>
19. Hoemann K., Gendron M., Barrett L.F. Mixed emotions in the predictive brain. *Current Opinion in Behavioral Sciences*. 2017;15:51–57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2017.05.013>
20. Lindquist K.A., Barrett L.F. A functional architecture of the human brain: emerging insights from the science of emotion. *Trends in Cognitive Sciences*. 2012;16(11):533–540. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.09.005>
21. Kaefer K., Stella F., McNaughton B.L., Battaglia F.P. Replay, the default mode network and the cascaded memory systems model. *Nature Reviews Neuroscience*. 2022;23(10):628–640. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41583-022-00620-6>
22. Koelsch S., Andrews-Hanna J.R., Skouras S. Tormenting thoughts: The posterior cingulate sulcus of the default mode network regulates valence of thoughts and activity in the brain’s pain network during music listening. *Human Brain Mapping*. 2022;43(2):773–786. DOI: <https://doi.org/10.1002/hbm.25686>
23. Killgore W.D.S., Smith R., Olson E.A. et al. Emotional intelligence is associated with connectivity within and between resting state networks. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2017;12(10):1624–1636. DOI: <https://doi.org/10.1093/scan/nsx088>
24. Aviezer H., Ensenberg N., Hassin R.R. The inherently contextualized nature of facial emotion perception. *Current Opinion in Psychology*. 2017;17:47–54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2017.06.006>
25. Barrett L.F., Mesquita B., Gendron M. Context in Emotion Perception. *Current Directions in Psychological Science*. 2011;20(5):286–290. DOI: <https://doi.org/10.1177/0963721411422522>
26. Gündem D., Potočník J., De Winter F.L. et al. The neurobiological basis of affect is consistent with psychological construction theory and shares a common neural basis across emotional categories. *Communications Biology*. 2022;5(1):1354. DOI: <https://doi.org/10.1038/s42003-022-04324-6>

27. Mesquita B., Boiger M. Emotions in Context: A Sociodynamic Model of Emotions. *Emotion Review*. 2014;6(4):298–302. DOI: <https://doi.org/10.1177/1754073914534480>
28. Greenaway K.H., Kalokerinos E.K., Williams L.A. Context is Everything (in Emotion Research). *Social and Personality Psychology Compass*. 2018;12(6):e12393. DOI: <https://doi.org/10.1111/spc3.12393>
29. Yan X., Andrews T.J., Young A.W. Cultural similarities and differences in perceiving and recognizing facial expressions of basic emotions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 2016;42(3):423–440. DOI: <https://doi.org/10.1037/xhp0000114>
30. Seth A.K., Friston K.J. Active interoceptive inference and the emotional brain. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 2016;371(1708):20160007. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0007>
31. Hoemann K., Feldman B.L. Concepts dissolve artificial boundaries in the study of emotion and cognition, uniting body, brain, and mind. *Cognition and Emotion*. 2019;33(1):67–76. DOI: <https://doi.org/10.1080/02699931.2018.1535428>
32. Smith R., Alkozei A., Killgore W.D.S. Contributions of self-report and performance-based individual differences measures of social cognitive ability to large-scale neural network functioning. *Brain Imaging and Behavior*. 2017;11(3):685–697. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11682-016-9545-2>
33. Barrett L.F., Simmons W.K. Interoceptive predictions in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*. 2015;16(7):419–429. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrn3950>
34. Ince S., Steward T., Harrison B.J. et al. Subcortical contributions to salience network functioning during negative emotional processing. *NeuroImage*. 2023;270:119964. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2023.119964>
35. Barrett L.F., Satpute A.B. Large-scale brain networks in affective and social neuroscience: towards an integrative functional architecture of the brain. *Current Opinion in Neurobiology*. 2013;23(3):361–372. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conb.2012.12.012>
36. Belyk M., Brown S. Perception of affective and linguistic prosody: an ALE meta-analysis of neuroimaging studies. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2014;9(9):1395–403. DOI: <https://doi.org/10.1093/scan/nst124>
37. Satpute A.B., Lindquist K.A. The Default Mode Network's Role in Discrete Emotion. *Trends in Cognitive Sciences*. 2019;23(10):851–864. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.07.003>
38. Smith R., Lane R.D. The neural basis of one's own conscious and unconscious emotional states. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2015;57:1–29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.08.003>
39. Scherer K.R., Moors A. The Emotion Process: Event Appraisal and Component Differentiation. *Annual Review of Psychology*. 2019;70(1):719–745. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-122216-011854>
40. Siemer M., Mauss I., Gross J.J. Same situation-Different emotions: How appraisals shape our emotions. *Emotion*. 2007;7(3):592–600. DOI: <https://doi.org/10.1037/1528-3542.7.3.592>
41. Smith R., Alkozei A., Bao J. et al. Resting state functional connectivity correlates of emotional awareness. *NeuroImage*. 2017;159:99–106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.07.044>
42. Goulden N., Khusnulina A., Davis N.J. et al. The salience network is responsible for switching between the default mode network and the central executive network: Replication from DCM. *NeuroImage*. 2014;99:180–190. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.05.052>
43. Aviezer H., Ensenberg N., Hassin R.R. The inherently contextualized nature of facial emotion perception. *Current Opinion in Psychology*. 2017;17:47–54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2017.06.006>
44. Dehaene S., Charles L., King J.R., Marti S. Toward a computational theory of conscious processing. *Current Opinion in Neurobiology*. 2014;25:76–84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conb.2013.12.005>
45. Diano M., Celeghin A., Bagnis A., Tamietto M. Amygdala Response to Emotional Stimuli without Awareness: Facts and Interpretations. *Frontiers in Psychology*. 2017;7. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.02029>
46. Takeuchi H., Taki Y., Nouchi R. et al. Resting state functional connectivity associated with trait emotional intelligence. *NeuroImage*. 2013;83:318–328. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.06.044>
47. Hampson M., Driesen N., Roth J.K. et al. Functional connectivity between task-positive and task-negative brain areas and its relation to working memory performance. *Magnetic Resonance Imaging*. 2010;28(8):1051–1057. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mri.2010.03.021>

48. Marchetti I., Koster E.H.W., Sonuga-Barke E.J., de Raedt R. The Default Mode Network and Recurrent Depression: A Neurobiological Model of Cognitive Risk Factors. *Neuropsychology Review*. 2012;22(3):229–251. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11065-012-9199-9>
49. Pan W., Wang T., Wang X. et al. Identifying the Core Components of Emotional Intelligence: Evidence from Amplitude of Low-Frequency Fluctuations during Resting State. *PLoS ONE*. 2014;9(10):e111435. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111435>
50. Lizeretti N.P., Extremera N. Emotional Intelligence and Clinical Symptoms in Outpatients with Generalized Anxiety Disorder (GAD). *Psychiatric Quarterly*. 2011;82(3):253–260. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11126-011-9167-1>
51. Kilner J.M., Neal A., Weiskopf N. et al. Evidence of Mirror Neurons in Human Inferior Frontal Gyrus. *Journal of Neuroscience*. 2009;29(32):10153–10159. DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2668-09.2009>
52. Power J.D., Petersen S.E. Control-related systems in the human brain. *Current Opinion in Neurobiology*. 2013;23(2):223–228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conb.2012.12.009>
53. Jarcho J.M., Fox N.A., Pine D.S. et al. The neural correlates of emotion-based cognitive control in adults with early childhood behavioral inhibition. *Biological Psychology*. 2013;92(2):306–314. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2012.09.008>
54. Zanella F., Monachesi B., Grecucci A. What is the Link Between Emotional Intelligence and Emotion Regulation? *Behavioural and Resting-State Functional Connectivity Evidences*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19477-x>
55. Sperduti M., Makowski D., Arcangeli M. et al. The distinctive role of executive functions in implicit emotion regulation. *Acta Psychologica*. 2017;173:13–20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2016.12.001>
56. Salthouse T.A. When does age-related cognitive decline begin? *Neurobiology of Aging*. 2009;30(4):507–514. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2008.09.023>
57. Singh-Manoux A., Kivimaki M., Glymour M.M. et al. Timing of onset of cognitive decline: results from Whitehall II prospective cohort study. *BMJ*. 2012;344(jan04 4):d7622–d7622. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.d7622>
58. Scheibe S., Carstensen L.L. Emotional Aging: Recent Findings and Future Trends. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*. 2010;65B(2):135–144. DOI: <https://doi.org/10.1093/geronb/gbp132>
59. Mather M. The Affective Neuroscience of Aging. *Annual Review of Psychology*. 2016;67(1):213–238. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-122414-033540>
60. Mather M. The emotion paradox in the aging brain: The emotion paradox in the aging brain. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2012;1251(1):33–49. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2012.06471.x>
61. Li C., Qiao K., Mu Y., Jiang L. Large-Scale Morphological Network Efficiency of Human Brain: Cognitive Intelligence and Emotional Intelligence. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2021;13:605158. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnagi.2021.605158>

Поступила 20.05.2023; одобрена после рецензирования 03.07.2023; принята к публикации 10.07.2023.

Информация об авторе:

Чипеева Надежда Александровна, научный сотрудник, НИИ развития мозга и высших достижений, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы (Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, стр. 6); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0845-3138>; e-mail: Nadezda.Chipeeva@ya.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Submitted 20.05.2023; approved after reviewing 03.07.2023; accepted for publication 10.07.2023.

About the author:

Nadezhda A. Chipeeva, Researcher, Research Institute for brain development and peak performance, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (6 Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russia); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0845-3138>; e-mail: Nadezda.Chipeeva@ya.ru

The author has read and approved the final manuscript.