

**ФИЗИОЛОГИЯ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ
(КОГНИТИВНОЙ) ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА**

УДК 612.821.3

**ВЗАИМОСВЯЗЬ ИНТЕРОЦЕПТИВНОГО ВОСПРИЯТИЯ
И ЭМОЦИОНАЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТА: ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ
НЕЙРОВИЗУАЛИЗАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ**

© 2020 г. О. Р. Добрушина^{1,*}, Л. А. Добрынина¹, Г. А. Арина², Е. И. Кремнева¹, А. Д. Суслина¹,
М. В. Губанова¹, А. В. Белопасова¹, П. О. Солодчик², Г. Р. Уразгильдеева¹, М. В. Кротенкова¹

¹ Научный центр неврологии, Москва, Россия

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*e-mail: dobrushina@gmail.com

Поступила в редакцию 04.09.2019 г.

После доработки 27.11.2019 г.

Принята к публикации 16.12.2019 г.

Нарушения interoцепции в настоящее время рассматривают в качестве патогенетического механизма психосоматических заболеваний и потенциальной мишени терапевтического воздействия. Целью исследования стало изучение функциональных мозговых основ, связывающих восприятие внутренних ощущений и эмоциональный интеллект.interoцептивная парадигма детекции сердцебиения была модифицирована, адаптирована на русский язык и использована в условиях функциональной МРТ у лиц среднего и старшего возраста без неврологических и психических заболеваний. Всем испытуемым было проведено тестирование эмоционального интеллекта Мэйера—Сэловея—Карузо. Выявлено, что уровень эмоционального интеллекта и точность детекции кардиоритма связаны с активацией правой передней островковой коры. Установленная опосредующая роль правой передней островковой коры во взаимодействии interoцептивного и эмоционального процессинга позволяет рассматривать ее нейрональным коррелятом данного взаимодействия при разработке подходов профилактики и лечения психосоматических расстройств.

Ключевые слова: interoцепция, эмоциональный интеллект, психосоматические расстройства, соматоформные расстройства, фМРТ, островковая кора

DOI: 10.31857/S0044467720020069

ВВЕДЕНИЕ

Перцептивные процессы человека наряду с восприятием экстероцептивной информации включают получение и обработку информации от собственного тела — interoцепцию. Фундаментальное значение исследований interoцепции определяется ее связью с эмоциональным процессингом (участием в динамической организации эмоций), причем концептуализация этой связи производится на разных теоретико-методологических основаниях [Barrett, Satpute, 2019]. Согласно классической теории Джеймса—Ланге, в ответ на внешние события возникают физиологические реакции, осознание которых сопровождается субъективным переживанием в форме эмоций [James et al., 1981]. Гипотеза Кэннона—Барда предполагает одновременность и неза-

висимость эмоциональных и физиологических реакций в ответ на внешние события и их связь с активацией общих областей мозга [Cannon, 1927]. Более поздние теории эмоций, такие как двухфакторная теория Шехтера—Сингера, подчеркивают роль когнитивных факторов, опосредующих связь между физиологическими и эмоциональными реакциями на ситуацию [Schachter, Singer, 1962; Scherer et al., 2001].

В настоящее время американской группой исследователей во главе с L.F. Barrett в рамках теории конструируемых эмоций (Theory of constructed emotion) предложено рассматривать interoцептивный и эмоциональный процессинги как связанные общими нейрональными механизмами предикативного кодирования [Barrett, 2017]. В то же время в

психологии телесности, разрабатываемой в рамках культурно-исторической традиции Выготского, и соматоперцепция (восприятие своего тела), и понимание эмоций являются психическими процессами, социокультурными по происхождению и опосредованными системой значений (прежде всего вербальных), что делает эти процессы доступными для осознания и произвольной регуляции [Выготский, 1982; Николаева, Арина, 2003]. Таким образом, общепризнанно, что interoception и эмоциональный процессинг тесно связаны, однако вопрос о механизмах, лежащих в основе этих связей, до сих пор остается предметом дискуссии [Barrett, 2017; Cannon, 1927; James et al., 1981; Kleckner et al., 2017; Schachter, Singer, 1962; Николаева, Арина, 2003].

В последние годы появляются данные о значимой роли нарушений соматоперцепции в патогенезе психических и психосоматических заболеваний. Так, при депрессии отмечается снижение точности interoception, а также связанной с ней мозговой активации, что коррелирует с наличием алекситимии [Eggart et al., 2019; Wiebking et al., 2015; Wiebking, Northoff, 2015]. Для людей с эмоциональным перееданием, напротив, характерна высокая точность в распознавании interoceptive сигналов, которая, однако, сочетается с недостаточной метакогнитивной осведомленностью о своих interoceptive способностях [Young et al., 2017]. При функциональных неврологических симптомах отмечается снижение точности в распознавании interoceptive сигналов при повышенном внимании к внешнему облику тела [Ricciardi et al., 2016]. Вопрос об особенностях interoceptive восприятия при соматоформных расстройствах остается нерешенным. Исходное предположение о возможном повышении чувствительности к внутренним сигналам не получило экспериментального подтверждения. Согласно исследованию Schaefer и соавторов, средний уровень interoceptive точности не различается у пациентов с соматоформными расстройствами и у здоровых добровольцев, при этом низкие значения interoceptive точности коррелируют с наличием большего числа соматоформных симптомов [Schaefer et al., 2012]. Те же исследователями показано, что тренинг кардиоцепции приводит к снижению числа соматоформных симптомов [Schaefer et al., 2014]. Одновременно ряд авторов указывают на важную роль когнитивных и эмо-

циональных факторов, опосредующих interoceptive восприятие, в возникновении соматоформных расстройств. К таким факторам могут относиться тревога о здоровье [Ariana et al., 2019], особенности восприятия собственного тела в виде повышения внимания к ощущениям в сочетании с недоверием к своему телесному опыту [Flasinski et al., 2018], когнитивные процессы активации воспоминаний об ощущениях и представления о них [Schaefer et al., 2012].

Таким образом, изучение interoceptive восприятия является актуальным междисциплинарным направлением, имеющим как фундаментальное, так и прикладное значение. В последние годы с развитием методов нейровизуализации [Пирадов и др., 2015] появилась возможность изучения соматоперцепции с нейронаучных позиций. Проводимые исследования базируются на теории системной динамической локализации высших психических функций [Лурия, 2000], при этом, в отличие от классических исследований А.Р. Лурии, мозговые основы устанавливаются преимущественно методом анализа активации, связанной с произвольным решением задач, а не путем изучения дефекта при локальных повреждениях. В 2004 г. было опубликовано пионерское исследование Н.Д. Critchley и соавторов, в котором в ходе функциональной МРТ (фМРТ) была использована парадигма детекции сердцебиения: испытуемые слушали собственное сердцебиение, не прибегая к нащупыванию пульса и другим специальным приемам (кардиоцепция). Было показано, что в кардиоцептивном восприятии участвуют островковая, соматомоторная и поясная кора головного мозга, при этом правая передняя островковая кора отвечает за представление физиологической информации в доступной для сознания форме [Critchley et al., 2004]. В последующем этот паттерн был подтвержден данными других работ, обобщенных в метаанализе, при этом наиболее стойкая активация отмечалась в правой передней островковой коре [Schulz, 2016].

Имеющиеся единичные исследования указывают на смежную роль островковой коры в восприятии эмоций и телесных ощущений. Так, Y. Terasawa и соавторы предлагали здоровым испытуемым ответить на вопросы, касающиеся своего эмоционального либо телесного состояния. Оказалось, что и в том, и в другом случае активируются правая перед-

няя островковая и венстромедиальная префронтальная кора [Terasawa et al., 2013]. В другой работе J. Zaki и соавторы сравнивали мозговую активацию при детекции сердцебиения и при оценке эмоций, возникающих при просмотре видеоролика. Было обнаружено, что правая передняя островковая кора участвует в выполнении обоих заданий, хотя распознавание эмоций сопряжено с вовлечением большего числа мозговых зон [Zaki et al., 2012]. Несмотря на несомненный интерес этих результатов, остается неясной возможность их трансляции в клиническую практику. Описанные исследования включают отдельные задачи на распознавание эмоций с неустановленной конструктивной и экологической валидностью. Кроме того, обычно используемые комплексные фМРТ-парадигмы может быть затруднительно применить в клинической практике, а не у молодых здоровых добровольцев. Учитывая, что около половины пациентов с соматоформными расстройствами, получающих лечение в стационаре общего профиля, составляют люди в возрасте от 50 лет [Fink et al., 2004], а с возрастом наблюдается снижение interoцептивных способностей [Khalsa et al., 2009], высокую практическую значимость имеет изучение взаимосвязи interoцептивного восприятия и эмоционального интеллекта у лиц среднего и старшего возраста. Такого рода исследования не описаны в научной литературе.

Проведенное нами исследование продолжает и развивает научное направление изучения взаимосвязей между interoцепцией и эмоциями, делая шаг в сторону возможных клинических приложений, в частности, у лиц среднего и старшего возраста. С использованием адаптированной фМРТ-парадигмы детекции сердцебиения мы оценили точность interoцептивного восприятия и выявили его мозговые основы. Для оценки эмоционального процессинга был использован тест Дж. Мэйера, П. Сэловея и Д. Карузо (MSCEIT v. 2.0), обладающий высокой конструктивной и экологической валидностью и имеющий установленное клиническое значение [Mayer et al., 2011; Сергиенко, Ветрова, 2009].

МЕТОДИКА

1.1. Участники

В исследование были включены испытуемые в соответствии со следующими критериями:

- возраст от 40 до 65 лет;
- женский пол;
- отсутствие в анамнезе неврологических и психических заболеваний;
- отсутствие значимых структурных изменений по данным МРТ головного мозга.

С целью достижения большей однородности данных в состав испытуемых на данном этапе исследования были включены женщины, поскольку, с одной стороны, имеются половые различия в interoцептивном [Grabauskaitė et al., 2017] и эмоциональном процессинге [Fischer et al., 2018; McRae et al., 2008], а с другой стороны, соматоформные расстройства чаще встречаются у женщин [Fink et al., 2004]. Полученная выборка состояла из 30 женщин в возрасте 51 ± 5.7 лет.

Кроме того, в пилотной фазе исследования 7 добровольцев в возрасте от 24 до 53 лет (1 мужчина) приняли участие в тестировании промежуточных версий фМРТ-парадигмы детекции сердцебиения.

Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом Научного центра неврологии, и все испытуемые дали информированное согласие на участие.

1.2. Получение нейровизуализационных данных

МРТ выполняли с помощью сканера Siemens MAGNETOM Verio 3T (Эрланген, Германия). Трехмерное структурное изображение состояло из сагиттальной T1-взвешенной последовательности 3D-MPRAGE (TR 1900 мс, TE 2.47 мс, размер вокселя $1 \times 1 \times 1$ мм, FoV 250 мм). Магнитное поле регистрировали для дальнейшей коррекции изображений с помощью последовательности "field map". Функциональные изображения получали с использованием последовательностей "T2*-gradient echo" (TR 2000 мс, TE 21 мс, размер вокселя $3 \times 3 \times 3$ мм, FOV 192 мм). Четыре дополнительных изображения были получены в начале сессии и удалены программным обеспечением сканера, чтобы предотвратить использование артефактных данных, полученных до достижения магнитного равновесия.

Адаптированный вариант парадигмы детекции сердцебиения был разработан нами на основании анализа имеющихся в литературе модификаций [Schulz, 2016] и испытания на пилотной выборке из 7 человек (их данные не были включены в анализ в связи с изменившимися параметрами задачи). С целью последующего использования парадиг-



Рис. 1. Парадигма детекции сердцебиения.
Fig. 1. The heartbeat detection task.

мы на клинических выборках мы отказались от введения используемых другими авторами дистракторов, таких, как сохранение звуковых тонов во время интероцептивной фазы, а также использовали наиболее прямой способ контроля интероцептивной точности — нажатие кнопки в ответ на каждое сердцебиение, а не подсчет ударов сердца за определенный промежуток времени. Действительно, в ходе пилотных испытаний мы отмечали, что и в таком упрощенном варианте парадигма является сложной для людей старшего возраста. В то же время, по литературным данным, результаты исследований с дополнительным контрастом “сердцебиение плюс звуки” сходны с картами активации, полученными без него [Schulz, 2016].

Длительность и количество фаз были подобраны с целью достижения баланса между достаточной статистической мощностью и временем сканирования. В первой версии парадигмы использовалась инструкция, являвшаяся прямым переводом с англоязычных прототипов: “сосредоточьте внимание на сердце”. Во второй версии парадигмы инструкция была изменена на двухфазную: “Сосредоточьтесь на своих ощущениях. Слушайте биение сердца”, поскольку исходный вариант оказался непонятным испытуемым и не приводил к интероцептивной активации.

Итоговый протокол кардиоцептивной задачи состоял из шестнадцати блоков с чередованием восьми интероцептивных (“Сердцебиение”) и восьми экстероцептивных (“Звуки”) условий. Каждое условие состояло из фазы слушания (20 секунд), фазы ответа (6 секунд)

и фазы отдыха (6 секунд). Условие (“Сердцебиение” или “Звуки”) обозначалось на экране знаком электрокардиограммы либо ноты, при этом в начале фазы ответа рядом с ней появлялся знак пальца на кнопке (рис. 1). Во время условия “Сердцебиение” участников просили сосредоточить внимание на сердце и слушать собственное сердцебиение и во время фазы ответа нажимать кнопку каждый раз, когда они чувствуют сердцебиение. Во время условия “Звуки” в наушники подавались сигналы “бип” с частотой, аналогичной индивидуальной частоте сердечных сокращений. Задача участников состояла в том, чтобы сосредоточиться на звуках в наушниках, слушать сигналы “бип” и во время фазы ответа нажимать кнопку в ответ на каждый сигнал. Перед началом сканирования уровень звука в наушниках регулировали до минимального различимого, чтобы обеспечить сопоставимую сложность двух условий.

До МРТ участники проходили стандартный инструктаж с использованием видеозаписи, который включал в себя тренировку по детекции сердцебиения. Непосредственно перед началом парадигмы инструкция повторялась на экране внутри сканера. Для презентации и сбора ответов использовался пакет Cogent в среде Matlab (http://www.vislab.ucl.ac.uk/cogent_2000.php). Пульс регистрировали с помощью пульсоксиметра, встроенного в томограф (Siemens Physiological Monitoring Unit), и обрабатывали в пакете TAPAS PhysIO в среде Matlab v. R2013b (<https://www.tnu.ethz.ch/en/software/tapas/documentations/physio-toolbox.html>). Синхронизация между предъявлением презентации и регистрацией данных томографом, включая пульсоксиметрическую кривую, проводилась с помощью устройства SyncBox (NordicNeuroLab).

1.3. Анализ нейровизуализационных данных

Для анализа данных фМРТ использовался пакет Statistical Parametric Mapping (SPM) 12 в среде Matlab (www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm). Предварительная обработка данных (препроцессинг) включала в себя коррекцию синхронизации срезов, расчет карты смещения вокселей, коррекцию пространственных искажений, корегистрацию структурных и функциональных изображений, пространственную нормализацию относительно стандартного пространства координат Монреальского неврологического института (MNI) и сглаживание

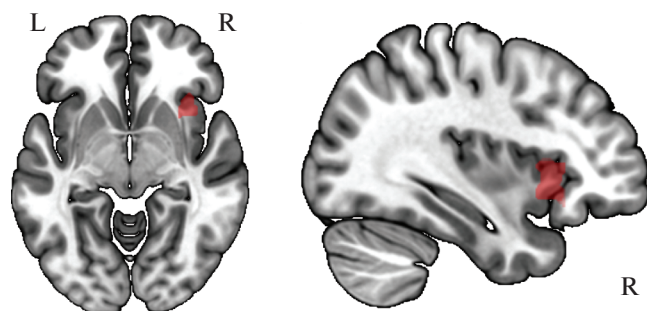


Рис. 2. Мозговая активация, связанная с выполнением интероцептивной задачи: кластер в правой передней островковой коре ($p < 0.001$ на уровне воксела; пик {36; 23; -10}; $T = 4.35$; $pFWE-corr = 0.04$ на уровне кластера).

Fig. 2. Brain activation related to the interoceptive task: cluster in the right anterior insula (voxel level $p < 0.001$; peak {36; 23; -10}; $T = 4.35$; cluster level $pFWE-corr = 0.04$).

с использованием ядра Гаусса 8 мм полной ширины на половине максимума. Размер ядра сглаживания был подобран исходя из общих рекомендаций [Worsley, Friston, 1995] по

обработке данных фМРТ, а также на основании опыта предшествующих исследований интероцепции, в которых выявлялись сравнительно крупные корковые зоны [Schulz, 2016]. Физиологический шум, возникающий в результате изменений центральной гемодинамики, оценивали на основании пульсовой кривой по алгоритму RETROICOR с использованием пакета TAPAS PhysIO Toolbox [Glover et al., 2000; Kasper et al., 2017]. В ходе анализа первого уровня в модель были включены фазы слушания двух условий (“Сердцебиение” и “Звуки”). Параметры движения и регрессоры, отражающие физиологический шум, были включены в качестве индивидуальных ковариат. Индивидуальные карты активации рассчитывали с использованием контраста “Сердцебиение (1) Звуки (-1)”.

Оценка индивидуальной эффективности в выполнении интероцептивной задачи проводилась с помощью широко используемого индекса интероцептивной точности [Brener, Ring, 2016]. Интероцептивную точность (ИТ) рассчитывали в Matlab по следующей формуле:

$$ИТ = 1/8 \sum_{i=1}^8 \left(1 - \frac{|\text{Фактическое количество сердцебиений}_i - \text{Количество ответов}_i|}{\text{Фактическое количество сердцебиений}_i} \right),$$

где i – номер блока, фактическое количество сердцебиений $_i$ – число сердцебиений, зарегистрированных пульсоксиметром в течение фазы ответа, количество ответов $_i$ – число нажатий на кнопку в течение фазы ответа (проводилось усреднение показателя по фазам ответа восьми интероцептивных условий).

Анализ второго уровня, направленный на выявление групповой карты активации, был выполнен с использованием общей линейной модели. Индивидуальные карты активации испытуемых “Сердцебиение (1) Звуки (-1)” были включены в модель в качестве матрицы зависимых переменных, а в качестве независимых переменных в модель вошли эффект всех испытуемых (поправка на среднюю активацию), интероцептивная точность (переменная интереса) и возраст (поправка на возраст, введенная в связи с описанными в литературе возрастными изменениями BOLD-сигнала) [Garrett et al., 2017]. Эффекты этих трех независимых переменных были заданы с помощью Т-контраста {0; 1; 0}, что соответствует выделению вокселей, активация которых, после поправки на другие влияния, была

связана именно с уровнем интероцептивной точности. В качестве порогового уровня для групповой карты активации задавалась $p < 0.001$ на уровне воксела, с последующей коррекцией на множественные сравнения на уровне кластера по методу “Family-wise error”: $pFWE-corr < 0.05$. Средний сигнал из полученного кластера активации, расположенного в правой передней островковой коре (см. рис. 2), был извлечен с использованием пакета MarsBar (<http://marsbar.sourceforge.net/>) для последующего статистического анализа.

1.4. Оценка уровня эмоционального интеллекта

В исследовании использовалась модель эмоционального интеллекта Мэйера, Сэловея и Карузо, определяющих его как способность воспринимать и выражать эмоции, использовать эмоции в мышлении, понимать эмоции и рассуждать о них, а также регулировать свои эмоции и эмоции других людей [Mayer et al., 2011]. Уровень эмоционального интеллекта оценивался с помощью теста Мэйера–Сэловей–Карузо второй версии (MSCET v. 2.0) в русскоязычной адаптации

Е.А. Сергиенко и И.И. Ветровой [Сергиенко, Ветрова, 2009], прошедшей валидизацию на исходной выборке из 638 респондентов и в нескольких последующих исследованиях [Сергиенко, Ветрова, 2009; Сергиенко, Ветрова, 2010]. Во время теста, длившегося около часа, участники выполняли задания, направленные на идентификацию эмоций в выражениях лиц и картинах, выбор эмоций, наиболее эффективных в конкретной ситуации, подбор вербального описания для эмоционального состояния, понимание эмоциональных реакций и их динамики, анализ эмоциональных компонентов сложных чувств, оценку эффективности определенных действий в регулировании своих эмоций и эмоций других людей. Обработка данных выполнялась с участием специалистов Института психологии РАН, авторов русской версии MSCEIT.

1.5. Последующий статистический анализ данных

Последующий статистический анализ данных проводился в среде “R Project” версии 3.6.0 с использованием пакета “Mediation” [Tingley et al., 2014]. На основании литературных данных [Barrett, 2017; Caseras et al., 2013; Terasawa et al., 2013; Zaki et al., 2012] была сформулирована априорная гипотеза о возможных корреляциях уровня эмоционального интеллекта с точностью детекции сердцебиения (интероцептивная точность) и со способностью к активации областей мозга, ответственных за интероцепцию, которая была проверена с помощью рангового корреляционного анализа Спирмена. Далее, структура взаимосвязей между интероцептивной точностью, эмоциональным интеллектом и выявленной в ходе фМРТ мозговой активацией (усредненная по 86 вокселям активация правого переднего островка, связанная с задачей детекции сердцебиения) была изучена с помощью каузального медиаторного анализа [Tingley et al., 2014]. Медиаторный анализ служит для проверки гипотез об опосредующей роли третьих переменных (медиаторов) в изучаемых взаимосвязях. В варианте, реализованном Tingley и соавт., он основывается на квази-Байесовском методе Монте Карло; для обеспечения удовлетворительной сходимости результатов мы использовали 100000 симуляций. На основании гипотезы о том, что выявленная нами активация правой островковой коры может являться фактором, опосредующим связь эмоционального интеллект-

та с интероцептивной точностью, в качестве независимой переменной в модель была включена интероцептивная точность, в качестве зависимой — эмоциональный интеллект, а в качестве медиатора — активация правой островковой коры.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Мозговые основы интероцептивного процессинга

Значения интероцептивной точности варьировали от 0.1 до 0.87 со средним значением 0.49 ± 0.25 . В результате анализа групповой активации, связанной с эффективностью детекции сердцебиения, был выявлен кластер из 86 вокселей с пиком в точке (36; 23; -10), расположенный в правой передней островковой коре ($pFWE-corr = 0.04$ на уровне кластера) — рис. 3. Выявленный кластер определялся в передней дорзальной части правого островка по классификации Deen и соавт. (Deen et al., 2011).

Контрольная задача по обнаружению звуковых тонов (“Звуки (1) Сердцебиение (-1)”, одновыборочный Т-критерий) по сравнению с основной характеризовалась активацией в верхней височной извилине, больше справа — кластер из 262 вокселей с пиком в (69; -31 8), $pFWE-corr = 0.001$.

Связь эмоционального интеллекта с интероцептивной точностью и активацией правой островковой коры

Уровень эмоционального интеллекта в нашей выборке варьировал от 66 до 117 баллов (медиана 96, 25-й процентиль 90, 75-й процентиль 105 баллов) по нормированной шкале, аналогичной коэффициенту интеллекта IQ, где 100 соответствует среднему по популяции. Уровень эмоционального интеллекта коррелировал с активацией правой передней островковой коры в ходе выполнения интероцептивной задачи ($Rho = 0.489$, $p = 0.007$) и с пограничной статистической значимостью с интероцептивной точностью ($Rho = 0.391$, $p = 0.033$). В ходе выполнения интероцептивной задачи интероцептивная точность с умеренной силой коррелировала с активацией правой передней островковой коры ($Rho = 0.579$, $p = 0.001$).

Медиаторный анализ показал, что связь между интероцептивной точностью и эмоциональным интеллектом на 72% обусловлена влиянием медиатора ($p = 0.005$ для эффекта каузальной медиации, или опосредованной

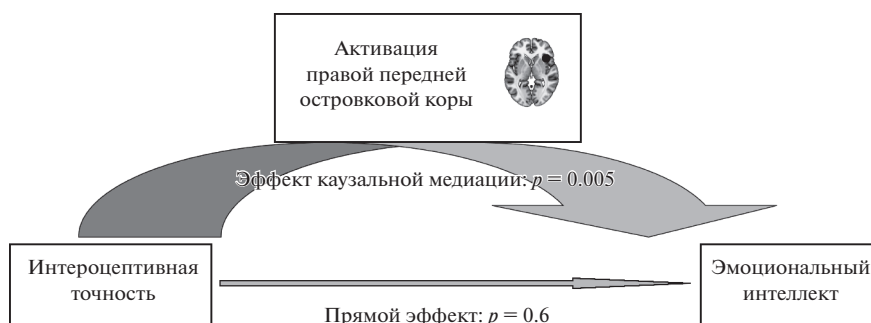


Рис. 3. Медиаторный анализ связей между уровнем эмоционального интеллекта (зависимая переменная), interoцептивной точностью (независимая переменная) и активацией правой передней островковой коры (медиатор).

Fig. 3. Mediation analysis of the relations between the emotional intelligence (dependent variable), interoceptive accuracy (independent variable) and the right anterior insula activation (mediator).

связи), при этом прямой эффект (непосредственная связь между interoцептивной точностью и эмоциональным интеллектом) оказывается незначимым ($p = 0.6$) – имела место полная медиация (рис. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для изучения мозговых основ interoцептивного восприятия в исследовании была использована адаптация парадигмы детекции сердцебиения, реализованная в рамках фМРТ. В отличие от предшествующих нейровизуализационных работ с целью последующего использования методики в клинических выборах мы апробировали упрощенный вариант инструкции у лиц среднего и старшего возраста, характеризующихся сниженными interoцептивными способностями [Khalsa et al., 2009]. Задача обнаружения сердцебиения оказалась достаточно сложной для участников исследования: около половины из них смогли обнаружить менее 50% сердечных сокращений, несмотря на специальное упрощение парадигмы и двойной инструктаж. Для выявления групповой активации потребовалось включение в анализ второго уровня в качестве ковариаты поведенческого показателя – индивидуальной точности детекции сердцебиения. Еще одним отличием от предшествующих исследований стала адаптация кардиоцептивной фМРТ-парадигмы на русском языке. Наш опыт показал, что конкретные формулировки значительно влияют на успешность выполнения задачи. Прямой перевод инструкции с английского (“сосредоточьте внимание на сердце”) оказался неэффективным; по всей видимости, он не вос-

принимался как адресованный к interoцептивному восприятию. Как следствие, была разработана двухфазная инструкция: 1. “Сосредоточьтесь на своих ощущениях” – обращение внимания вовнутрь тела. 2. “Слушайте биение сердца” – адресация к конкретному типу внутренних ощущений. Инструкция подавалась в строго стандартизованном виде, с помощью видеоинструктажа вне томографа и презентации в томографе, что является отличительным преимуществом нашего исследования. В итоге апробации парадигмы был выявлен паттерн активации, сходный с данными других исследований [Schulz, 2016] – правая передняя островковая кора (рис. 2), в то время как контрольная задача на детекцию звуковых тонов задействовала слуховую кору. Эти данные позволяют говорить о валидности разработанной адаптации.

Выявленные нами корреляции эмоционального интеллекта с активацией правой островковой коры и interoцептивной точностью объясняются в рамках теорий эмоций, постулирующих ключевую роль восприятия своего тела в эмоциональном процессинге [Barrett, 2017; Cannon, 1927; James et al., 1981; Schachter, Singer, 1962; Scherer et al., 2001], а также в рамках психологии телесности, рассматривающей соматоперцепцию и эмоции как объединенные общим социокультурным происхождением и общей опосредующей системой значений [Николаева, Арина, 2003]. Результаты исследования уточняют характер взаимосвязей между interoцепцией и эмоциями: в ходе медиаторного анализа установлена каузальная роль правой передней островковой коры в зависимости между intero-

цептивной точностью и эмоциональным интеллектом.

Несмотря на то что с развитием методов нейровизуализации островковая кора стала объектом пристального исследования, до сих пор она остается одной из наименее изученных зон головного мозга. Островок связан анатомически и функционально с многочисленными корковыми и подкорковыми структурами [Ghaziri et al., 2017; Ghaziri et al., 2018] и отвечает за высокоуровневую, надмодальную обработку информации в широком спектре задач, включая сенсомоторные, когнитивные и социоэмоциональные [Uddin et al., 2017]. Передняя островковая кора входит в состав сети выделения значимости (salience network), осуществляющей отбор важных для индивида стимулов среди всего множества сигналов, поступающих извне и изнутри [Курганский, 2018; Селиверстова, 2013]. Мы предполагаем, что данная операция фильтрации информации необходима как для решения задач в тесте на эмоциональный интеллект (эмоциональный процессинг), так и для решения задачи детекции сердцебиения (интероцепция). Действительно, для определения сердцебиения участник должен был на основе вербально заданного эталона найти телесный сигнал, соответствующий значению “биение сердца”, отфильтровать его от множества других, интегрировать во времени и представить в форме, доступной для осознания. Полученные результаты согласуются с теорией системной динамической локализации высших психических функций [Лурия, 2000]. А.Р. Лурия установил, что различные психические процессы могут обеспечиваться едиными мозговыми основами, что трактуется как присутствие в их структуре общих психофизиологических звеньев. Данное исследование подтверждает существование таких факторов в организации интероцептивного восприятия и эмоций.

Особенностью нашей работы, отличающей ее от других нейровизуализационных исследований интероцепции и эмоций [Terasawa et al., 2013; Zaki et al., 2012], является использование теста эмоционального интеллекта, а не отдельных заданий на оценку эмоций. Изучение эмоционального интеллекта в контексте соматоперцепции является новым направлением психосоматических исследований, в настоящее время насчитывающим единичные работы [Perepelkina et al., 2017]. В то же время модель эмоционального интел-

лекта Мэйера—Сэловей—Карузо прошла тщательную валидизацию в психосоциальном контексте как в оригинальной англоязычной версии, так и в русскоязычном переводе [Сергиенко, Ветрова, 2010]. С практической точки зрения важно, что высокий уровень эмоционального интеллекта связан с успешностью в различных сферах человеческой жизнедеятельности [Brackett et al., 2004; Lopes et al., 2003; Zeidner et al., 2004], а низкий — с социальной дезадаптацией в форме эмоциональных расстройств, прежде всего тревожно-депрессивного спектра и девиантного поведения [Mayer et al., 2004].

Следует обозначить ограничения исследования и возможные направления для дальнейшей работы. На данном этапе была изучена группа испытуемых с определенными демографическими характеристиками — женщины от 40 до 65 лет. Выбор данной группы был связан, с одной стороны, с тем, что женщины наиболее уязвимы для психосоматических расстройств [Fink et al., 2004], а с другой стороны, с желанием разработать универсальный вариант парадигмы, пригодный для использования в клинической практике. Представляет интерес проведение аналогичного исследования и у мужчин, поскольку известно, что существуют половые различия и в эмоциональном, и в интероцептивном процессинге [Fischer et al., 2018; Grabauskaitė et al., 2017; McRae et al., 2008]. Одновременно возможно применение описанной нами методики с целью изучения как патогенеза соматоформных расстройств, так и возможных психосоматических механизмов соматических заболеваний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, с использованием адаптированной парадигмы детекции сердцебиения были установлены взаимосвязи между соматоперцепцией, эмоциональным процессингом и их общими мозговыми основами. Результаты исследования имеют не только теоретическое, но и клиническое значение. Исходя из предполагаемой роли нарушений интероцепции в патогенезе психических и психосоматических заболеваний [Eggart et al., 2019; Ricciardi et al., 2016; Schaefer et al., 2012; Wiebking et al., 2015; Wiebking, Northoff, 2015; Young et al., 2017], представляется перспективной разработка терапевтических подходов, направленных на оптимизацию функци-

онирования interoцептивных мозговых систем. В настоящее время применяются тренировки с биологически обратной связью (БОС), в ходе которых получаемые с помощью датчиков физиологические сигналы презентуются на мониторе в доступной сознанию форме [Marzbani et al., 2016]. Важным аспектом БОС-тренингов является развитие interoцепции с целью улучшения понимания собственных эмоциональных состояний. В то же время существует большой потенциал для оптимизации методик БОС-терапии [Strehl, 2014; Федотчев и др., 2019]. Помимо БОС-тренингов, возможно использование нейростимуляционных методов – воздействие на определенные зоны головного мозга с целью их активации или торможения; при этом нерешенным является вопрос выбора оптимальных точек воздействия [Dobrushina et al., 2019; Добрынина и др., 2018; Червяков и др., 2012].

Полученные нами данные о взаимосвязях между interoцепцией, эмоциональным интеллектом и активацией правой островковой коры могут лечь в основу интердисциплинарных подходов, направленных на развитие эмоциональных способностей человека, профилактику и лечение заболеваний психоневрологического профиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Выготский Л.С.* Из записных книжек. Вестник Моск ун-та Сер 14, Психология. М.: МГУ, 1982. С. 63–71.
- Добрынина Л.А., Гаджиева З.Ш., Морозова С.Н., Кремнева Е.И., Кротенкова М.В., Кашина Е.М., Поддубская А.А.* Управляющие функции мозга: функциональная магнитно-резонансная томография с использованием теста Струпа и теста серийного счета про себя у здоровых. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2018. 118 (11): 64–71.
- Курганский А.В.* Функциональная организация мозга человека в состоянии покоя. Журнал высшей нервной деятельности им И.П. Павлова. 2018. 68 (5): 567–580.
- Лурия А.Р.* Высшие корковые функции человека и их нарушения при локальных поражениях мозга. Москва: Академический проект. 2000.
- Николаева В.В., Арина Г.А.* Клинико-психологические проблемы психологии телесности. Психологический журнал. 2003. 24 (1): 119–126.
- Пирадов М.А., Танащян М.М., Кротенкова М.В., Брюхов В.В., Кремнева Е.И., Коновалов Р.Н.* Передовые технологии нейровизуализации. Анналы клинической и экспериментальной неврологии. 2015. 9 (4): 11–18.
- Селиверстова Е.В., Селиверстов Ю.А., Коновалов Р.Н., Иллариошкин С.Н.* Функциональная магнитно-резонансная томография покоя: новые возможности изучения физиологии и патологии мозга. Анналы клинической и экспериментальной неврологии. 2013. 7 (4): 39–44.
- Сергиенко Е.А., Ветрова И.И.* Тест Дж. Мэйера, П. Сэловея и Д. Карузо “Эмоциональный интеллект” (MSCEIT v. 2.0). Руководство. М.: Изд-во “Институт психологии РАН”, 2010.
- Сергиенко Е.А., Ветрова И.И.* Эмоциональный интеллект: русскоязычная адаптация теста Мэйера–Сэловея–Карузо (MSCEIT V2.0). Психологические исследования: электрон науч журн. 2009. 6 (8): 2.
- Федотчев А.И., Парин С.Б., Громов К.Н., Савчук Л.В., Полевая С.А.* Комплексная обратная связь от биопотенциалов мозга и сердца в коррекции стресс-индуцированных состояний. Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2019. 69 (2): 187–193.
- Червяков А.В., Пирадов М.А., Савицкая Н.Г., Черникова Л.А., Кремнева Е.И.* Новый шаг к персонализированной медицине. Навигационная система транскраниальной магнитной стимуляции (NBS eXimia Nexstim). Анналы клинической и экспериментальной неврологии. 2012. 6 (3): 37–47.
- Arina G.A., Solodchik P.O., Iosifyan M.A., Dobrushina O.R.* Transition from perception of autonomic functioning to somatoform disorders: the role of alexithymia and health anxiety. Eur Psychiatry. 2019. 55: 10–11.
- Barrett L.F., Satpute A.B.* Historical pitfalls and new directions in the neuroscience of emotion. Neurosci Lett. 2017. 9–18.
- Barrett L.F.* The theory of constructed emotion: an active inference account of interoception and categorization. Soc Cogn Affect Neurosci. 2017. 12 (1): 1–23.
- Brackett M.A., Mayer J.D., Warner R.M.* Emotional intelligence and its relation to everyday behaviour. Pers Individ Dif. 2004. 36 (6): 1387–1402.
- Brener J., Ring C.* Towards a psychophysics of interoceptive processes: the measurement of heartbeat detection. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2016. 371 (1708).
- Cannon W.B.* The James-Lange Theory of Emotions: A Critical Examination and an Alternative Theory. Am J Psychol. 1927. 39 (1/4): 106.
- Caseras X., Murphy K., Mataix-Cols D., López-Solà M., Soriano-Mas C., Ortíz H., Pujol J., Torrubia R.* Anatomical and functional overlap within the insula and anterior cingulate cortex during intero-

- ception and phobic symptom provocation. *Hum Brain Mapp.* 2013. 34 (5): 1220–1229.
- Critchley H.D., Wiens S., Rotshtein P., Öhman A., Dolan R.J. Neural systems supporting interoceptive awareness. *Nat Neurosci.* 2004. 7 (2): 189–195.
- Dobrushina O.R., Gadzhieva Z.Sh., Morozova S.N., Kremneva E.I., Krotchenkova M.V., Dobrynina L.A. The Compensatory Role of the Frontal Cortex in Mild Cognitive Impairment: Identifying the Target for Neuromodulation. *NeuroRegulation.* 2019. 6 (1): 3–14.
- Eggart M., Lange A., Binser M.J., Queri S., Müller-Oerlinghausen B. Major Depressive Disorder Is Associated with Impaired Interoceptive Accuracy: A Systematic Review. *Brain Sci.* 2019. 9 (6): 131.
- Fink P., Hansen M.S., Oxhøj M.-L. The prevalence of somatoform disorders among internal medical inpatients. *J Psychosom Res.* 2004. 56:413–418.
- Fischer A.H., Kret M.E., Broekens J. Gender differences in emotion perception and self-reported emotional intelligence: A test of the emotion sensitivity hypothesis. *PLoS One.* 2018. 13:e0190712.
- Flasinski T., Dierolf A., Voderholzer U., Koch S., Bach M., Asenstorfer C., Lutz A., Rost S., Vögele C., Schulz A. Sensing Your Body: Interoceptive Awareness and Medically Unexplained Symptoms. Abstracts of the 32nd Annual Conference of the European Health Psychology Society. 2018. <http://hdl.handle.net/10993/36168>.
- Garrett D.D., Lindenberger U., Hoge R.D., Gauthier C.J. Age differences in brain signal variability are robust to multiple vascular controls. *Sci Rep.* 2017. 7 (1): 10149.
- Ghaziri J., Tucholka A., Girard G., Boucher O., Houde J.-C., Descoteaux M., Obaid S., Gilbert G., Rouleau I., Nguyen D.K. Subcortical structural connectivity of insular subregions. *Sci Rep.* 2018. 8 (1): 8596.
- Ghaziri J., Tucholka A., Girard G., Houde J.-C., Boucher O., Gilbert G., Descoteaux M., Lippé S., Rainville P., Nguyen D.K. The Corticocortical Structural Connectivity of the Human Insula. *Cereb Cortex.* 2017. 27 (2): 1216–1228.
- Glover G.H., Li T.Q., Ress D. Image-based method for retrospective correction of physiological motion effects in fMRI: RETROICOR. *Magn Reson Med.* 2000. 44 (1): 162–167.
- Grabauskaitė A., Baranauskas M., Griškova-Bulanova I. Interoception and gender: What aspects should we pay attention to? *Conscious Cogn.* 2017. 48: 129–137.
- James W., Burkhardt F., Bowers F., Skrupskelis I.K. The principles of psychology. NY: Harvard University Press, 1981. 1740 p.
- Kasper L., Bollmann S., Diaconescu A.O., Hutton C., Heinzle J., Iglesias S. Hauser, Tobias U., Sebold M., Manjaly Z.-M., Pruessmann K.P., Stephan K.E. The PhysIO Toolbox for Modeling Physiological Noise in fMRI Data. *J Neurosci Methods.* 2017. 276: 56–72.
- Khalsa S.S., Rudrauf D., Tranel D. Interoceptive awareness declines with age. *Psychophysiology.* 2009. 46: 1130–1136.
- Kleckner I.R., Zhang J., Touroutoglou A., Chanes L., Xia C., Simmons W.K., Quigley K.S., Dickerson B.C., Barrett L.F. Evidence for a Large-Scale Brain System Supporting Allostasis and Interoception in Humans. *Nat Hum Behav.* 2017. 1.
- Lopes P.N., Salovey P., Straus R. Emotional intelligence, personality, and the perceived quality of social relationships. *Pers Individ Dif.* 2003. 35 (3): 641–658.
- Marzbani H., Marateb H.R., Mansourian M. Neurofeedback: A Comprehensive Review on System Design, Methodology and Clinical Applications. *Basic Clin Neurosci.* 2016. 7 (2): 143–158.
- Mayer J.D., Salovey P., Caruso D.R., Cherkasskiy L. Emotional intelligence. In: Sternberg R.J., Kaufman S.B., editors. *The Cambridge handbook of intelligence.* New York: Cambridge University Press, 2011. P. 528–549.
- Mayer J.D., Salovey P., Caruso D.R. Emotional Intelligence: Theory, Findings, and Implications. *Psychol Inq.* 2004. 15 (3): 197–215.
- McRae K., Ochsner K.N., Mauss I.B., Gabrieli J.D., Gross J.J. Gender Differences in Emotion Regulation: An fMRI Study of Cognitive Reappraisal. *Group Process Intergroup Relat.* 2008. 11:143–162.
- Perepelkina O., Boboleva M., Arina G., Nikolaeva V. Higher Emotional Intelligence Is Associated With a Stronger Rubber Hand Illusion. *Multisens Res.* 2017. 30 (7–8): 615–637.
- Ricciardi L., Demartini B., Crucianelli L., Krahé C., Edwards M.J., Fotopoulou A. Interoceptive awareness in patients with functional neurological symptoms. *Biol Psychol.* 2016. 113: 68–74.
- Schachter S., Singer J. Cognitive, social, and physiological determinants of emotional state. *Psychol Rev.* 1962. 69 (5): 379–399.
- Schaefer M., Egloff B., Gerlach A.L., Witthöft M. Improving heartbeat perception in patients with medically unexplained symptoms reduces symptom distress. *Biol Psychol.* 2014. 101: 69–76.
- Schaefer M., Egloff B., Witthöft M. Is interoceptive awareness really altered in somatoform disorders? Testing competing theories with two paradigms of heartbeat perception. *J Abnorm Psychol.* 2012. 121 (3): 719–724.
- Scherer K.R., Schorr A., Johnstone T. Appraisal processes in emotion: theory, methods, research. London: Oxford University Press, 2001. 478 p.
- Schulz S.M. Neural correlates of heart-focused interoception: a functional magnetic resonance imaging

- meta-analysis. *Philos Trans R Soc B Biol Sci.* 2016. 371 (1708): 20160018.
- Strehl U.* What learning theories can teach us in designing neurofeedback treatments. *Front Hum Neurosci.* 2014. 8: 894.
- Terasawa Y., Fukushima H., Umeda S.* How does interoceptive awareness interact with the subjective experience of emotion? An fMRI Study. *Hum Brain Mapp.* 2013. 34 (3): 598–612.
- Tingley D., Yamamoto T., Hirose K., Keele L., Imai K.* Mediation: R Package for Causal Mediation Analysis. *J Stat Softw.* 2014. 59 (5): 1–38.
- Uddin L.Q., Nomi J.S., Hébert-Seropian B., Ghaziri J., Boucher O.* Structure and Function of the Human Insula. *J Clin Neurophysiol.* 2017. 34 (4): 300–306.
- Wiebking C., de Greck M., Duncan N.W., Tempelmann C., Bajbouj M., Northoff G.* Interoception in insula subregions as a possible state marker for depression – an exploratory fMRI study investigating healthy, depressed and remitted participants. *Front Behav Neurosci.* 2015. 9: 82.
- Wiebking C., Northoff G.* Neural activity during interoceptive awareness and its associations with alexithymia—An fMRI study in major depressive disorder and non-psychiatric controls. *Front Psychol.* 2015. 6: 589.
- Worsley K.J., Friston K.J.* Analysis of fMRI Time-Series Revisited—Again. *Neuroimage.* 1995. 2: 173–181.
- Young H.A., Williams C., Pink A.E., Freegard G., Owens A., Benton D.* Getting to the heart of the matter: Does aberrant interoceptive processing contribute towards emotional eating? *PLoS One.* 2017. 12 (10): e0186312.
- Zaki J., Davis J.I., Ochsner K.N.* Overlapping activity in anterior insula during interoception and emotional experience. *Neuroimage.* 2012. 62 (1): 493–499.
- Zeidner M., Matthews G., Roberts R.D.* Emotional Intelligence in the Workplace: A Critical Review. *Appl Psychol.* 2004. 53 (3): 371–399.

THE INTERRELATION BETWEEN INTEROCEPTION AND EMOTIONAL INTELLIGENCE: A FUNCTIONAL NEUROIMAGING STUDY

O. R. Dobrushina^{a,#}, L. A. Dobrynina^a, G. A. Arina^b, E. I. Kremneva^a, A. D. Suslina^a, M. V. Gubanova^a, A. V. Belopasova^a, P. O. Solodchik^b, G. R. Urazgildeeva^a, and M. V. Krotenkova^a

^a Research Center of Neurology, Moscow, Russia

^b M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

[#]e-mail: dobrushina@gmail.com

Aberrant interoceptive processing is increasingly recognized as a mechanism of psychosomatic disorders and as a target for therapeutic interventions. The current study was aimed at investigation of the functional neural links between the interoception and emotional intelligence. Interoceptive heartbeat detection task was modified, adopted into Russian and used during functional magnetic resonance tomography in older adults without neurological and psychiatric diseases and with no abnormalities detected by the structural MRI. The study participants also underwent the Mayer–Salovey–Caruso Emotional Intelligence Test. We found that both emotional intelligence and interoceptive accuracy are related to the task-based activation of the right anterior insula. The revealed mediatory role of the right insula in the link between the interoceptive and emotional processing may influence the development of interdisciplinary approaches to prophylaxis and treatment of the psychosomatic conditions.

Keywords: interoception, emotional intelligence, fMRI, insular cortex