

ФИЗИОЛОГИЯ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ
(КОГНИТИВНОЙ) ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

УДК 159.91

ЭЭГ-КОРРЕЛЯТЫ АКТИВНОСТИ ДЕФОЛТ-СИСТЕМЫ
ПРИ ОБРАБОТКЕ СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМОЙ ИНФОРМАЦИИ

© 2020 г. Г. Г. Князев^{1,*}, А. В. Бочаров^{1,2}, А. Н. Савостьянов^{1,2}, Е. А. Левин³

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Научно-исследовательский институт физиологии и фундаментальной медицины», Новосибирск, Россия

² Национальный исследовательский Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

³ ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр им. акад. Е.Н. Мешалкина Минздрава РФ, Новосибирск, Россия

*e-mail: knyazev@physiol.ru

Поступила в редакцию 27.03.2019 г.

После доработки 24.05.2019 г.

Принята к публикации 03.06.2019 г.

В основе социального познания лежит понимание различия между “Я” и “Другие”. Существующие данные позволяют связать эти процессы с так называемой дефолт-системой мозга. В данной работе на основе ЭЭГ-данных выявлялись паттерны коннективности дефолт-системы в альфа-диапазоне при обдумывании собственных качеств и качеств других людей и при динамическом оценивании этих объектов с использованием предъявляемых прилагательных. В первом случае наибольшее увеличение коннективности между дефолт-системой и латеральной префронтальной корой определен при обдумывании своих качеств. Во втором же случае наибольший уровень коннективности обнаружен при оценивании малознакомого человека. Эти данные показывают, что как при размышлениях в покое, так и при динамической оценке качеств разных персонажей активируются функциональные связи между дефолт-системой и структурами латеральной префронтальной коры. Степень активации этих связей максимальна при динамической оценке малознакомого человека и при обдумывании собственных качеств.

Ключевые слова: социальное познание, дефолт-система, ЭЭГ, альфа-осцилляции, функциональные связи

DOI: 10.31857/S0044467720020070

ВВЕДЕНИЕ

В основе социального познания лежит понимание различия между “Я” и “Другие”. Отсутствие такого понимания является одним из признаков некоторых видов психических болезней, таких как шизофрения [Sass, Parnas 2003]. Корковым представительство “Я”, по современным представлениям, являются медиальные области коры [Northoff, Bergpohl, 2004]. Система репрезентаций психических феноменов других людей получила название “модель психического” (Theory of Mind, ToM). Методами нейровизуализации были выявлены области мозга (медиальная префронтальная кора, область вокруг верхней височной борозды и др.), участвующие в связанных с ToM процессах [Gallagher, Frith, 2003]. Относящиеся к ToM области в значительной степени перекрываются с корковым представительство “Я”, и зона этого перекрывания совпадает с так называемой де-

фолт-системой (default mode network) [Qin, Northoff, 2011; Spreng et al., 2009].

Значительное число исследований посвящено выявлению нервного субстрата как просоциальных (любовь, эмпатия, мораль), так и антисоциальных эмоций и типов поведения [Разумникова, Пусикова, 2018; Bartels, Zeki, 2004; Decety, Cowell, 2015; Wahlun, Kristiansson, 2009]. Интересно, что, несмотря на очевидные различия этих видов поведения, связанные с ними паттерны активации в мозгу также в значительной степени перекрываются друг с другом, и область этого перекрывания также совпадает с дефолт-системой [Spreng et al., 2009; van Veluw, Chance, 2014]. Эти данные согласуются с предположением, что к функциям дефолт-системы относится как самосознание, так и социальное познание [Mitchell, 2006]. В соответствии с этой гипотезой были найдены отклонения в активности дефолт-системы у лиц с аутизмом

[Kennedy, Courchesne, 2008; Kennedy et al., 2006] и социальной фобией [Gentili et al., 2009].

Необходимо отметить, что подавляющее большинство относящихся к дефолт-системе данных получено с помощью фМРТ [Курганский, 2018; Мартынова и др., 2018]. Этот метод имеет очевидные достоинства при изучении пространственной организации функциональной активности мозга, однако, он обладает и рядом недостатков. Наиболее существенным из них является то, что до сих пор непонятно, в какой степени измеряемые этим методом изменения уровня оксигенации крови связаны с изменением информационных аспектов активности нейронов [Debener et al., 2006]. Это означает, что изучение функций социального мозга не должно ограничиваться только рамками фМРТ. Оно обязательно должно быть дополнено изучением регистрируемых с помощью ЭЭГ-осцилляторных процессов, функциональные корреляты которых достаточно хорошо изучены [Basar, 1999; Knyazev, 2007]. Однако изучение ЭЭГ-коррелятов активности дефолт-системы сопряжено с методическими трудностями, главная из которых — отсутствие прямой информации о пространственной локализации в мозгу выявляемых с помощью ЭЭГ процессов. В недавних работах трудности эти в определенной степени преодолены и разработаны методы, позволяющие исследовать электрофизиологические корреляты активности дефолт-системы [Brookes et al., 2011a, 2011b, 2012; De Pasquale et al., 2010; Hipp et al., 2012; Knyazev et al., 2016, 2018; Siems et al., 2016; Wens et al., 2014]. К настоящему времени накоплен достаточно большой объем данных, показывающих, что приписываемые дефолт-системе психологические процессы в ЭЭГ в наибольшей степени коррелируют с альфа-осцилляциями [см. обзор Knyazev, 2013]. В целом динамика активности дефолт-системы, которая активна в состоянии покоя и снижает активность при восприятии информации из внешнего мира, похожа на динамику альфа-осцилляций, мощность которых также наиболее велика в состоянии покоя с закрытыми глазами и снижается при восприятии информации извне. Однако это сходство не универсально. Например, активность дефолт-системы увеличивается при различении имеющих и не имеющих отношение к личности испытуемого стимулов [Buckner et al., 2008; Northoff et al., 2006], решении моральных проблем [Greene et al., 2001; Harrison et al., 2008], социальных взаимодействиях [Rilling et al., 2004, 2008]. Мощность же аль-

фа-осцилляций снижается (по сравнению с состоянием покоя) при восприятии любых внешних стимулов, причем нами ранее показано, что в структурах дефолт-системы это снижение наиболее велико при обработке стимулов, имеющих отношение к собственной персоне [Knyazev et al., 2011].

Задачей данной работы было выявление паттернов коннективности дефолт-системы на основе данных ЭЭГ при обработке стимулов, имеющих отношение к себе и другим людям.

МЕТОДИКА

Выборка включала 41 человека (20 мужчин и 21 женщина, средний возраст 23.4, SD = 6.6) и состояла из студентов и преподавателей Новосибирского государственного университета. Протокол исследования был утвержден этическим комитетом Института физиологии и фундаментальной медицины. Информированное согласие было получено у всех испытуемых в соответствии с этическими нормами Хельсинкской декларации 2013 г. Сначала записывали ЭЭГ в состоянии покоя в течение 6 мин (3 мин с закрытыми, 3 мин с открытыми глазами). После этого испытуемых просили подумать и выбрать людей, относящихся к трем категориям: “любимый” (близкий человек), “малознакомый” (нейтральный человек) и “неприятный” (неприятный человек). Потом предлагали оценить по шкале от -5 до $+5$ эмоции, которые вызывает каждый из выбранных объектов. Дальнейший эксперимент состоял из предъявления испытуемым на экране монитора прилагательных, описывающих личностные или другие характеристики. Предлагалось оценить, в какой степени эти характеристики свойственны самому испытуемому или тем людям, которых они выбрали на предварительном этапе. Эксперимент состоял из четырех блоков, которые у разных испытуемых чередовались в случайном порядке. В начале каждого блока на экране монитора появлялась надпись, сообщающая, кого из выбранных объектов предстоит оценивать, и предлагалось в течение двух минут вспомнить этого человека и подумать о его/ее качествах. Затем на экране монитора в случайном порядке предъявлялись прилагательные из списка, и испытуемый должен был выбрать один из вариантов: “да”, или “нет”, нажимая правой рукой соответствующую клавишу на клавиатуре. В течение всего блока в верхней части экрана показывалось напоминание, кто в данном блоке оценивается. Перед предъявле-

нием прилагательного на экране появлялся крест, через 500 мс крест исчезал. После этого был представлен пустой экран, время предъявления пустого экрана варьировало от 700 до 1400 мс. Прилагательное и надпись, сообщающая, кого в данный момент нужно оценивать, находились на экране монитора до момента выбора ответа. Межстимульный интервал варьировал от 3 до 4 с. Схема блока оценки прилагательных представлена на рис. 1. Предварительно были составлены списки прилагательных русского языка, в среднем не отличающиеся по длине и числу гласных для разных сравниваемых категорий. Прилагательные были подобраны таким образом, чтобы оценивать качества (“положительные”, “отрицательные” и “нейтральные”), и число слов во всех категориях было сбалансировано. Некоторые прилагательные были взяты из личностных опросников и описывали свойства личности, другие описывали физические характеристики. Составленный список прилагательных был протестирован группой экспертов (студенты и преподаватели гуманитарного факультета НГУ), и каждое прилагательное оценено в плане знака и силы эмоций, которые оно вызывает. В результате отобрано 50 “положительных” прилагательных, имеющих максимальные положительные оценки, 50 “отрицательных” прилагательных, имеющих максимальные отрицательные оценки и 50 “нейтральных” прилагательных, имеющих минимальные оценки выраженности эмоций.

Запись ЭЭГ проводилась на установке Brain Products (Германия) с использованием стандартной шапочки с 127 электродами, расположенными по системе 10–5, при частоте оцифровки 1000 Гц. В качестве референта использовали Cz. Индивидуальная позиция каждого электрода определялась с помощью дигитайзера FASTRAK (Polhemus). Артефакты удалялись с помощью анализа независимых компонент в программе EEGLab [Delorme, Makeig, 2004], и данные пересчитывались на усредненный референт. Поскольку анализ коннективности требует непрерывной записи [Brookes et al., 2011], деление на эпохи не проводилось — анализировался весь массив данных, относящихся к каждому экспериментальному блоку. Данные были отфильтрованы в диапазоне альфа-ритма (8–12 Гц). Этот диапазон был выбран на основе большого количества данных, показывающих, что ЭЭГ-корреляты процессов самосознания и социального познания наиболее устойчиво выявляются именно в альфа-диапазоне [см. обзор Князев, 2013]. Локализация

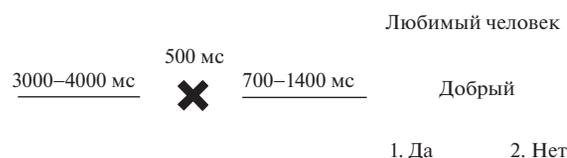


Рис. 1. Схема блока с оценкой прилагательных.
Fig. 1. Scheme of one trial during evaluation of adjectives.

источников осуществлялась методом формирователя пучка (beamformer). В качестве модели головы использовали модель граничных элементов, построенную на основе стандартной головы, но скорректированную в SPM12 в соответствии с индивидуальной формой головы, вычисляемой исходя из измеренных координат электродов. Далее проводилась коррекция утечки сигнала методом ортогонализации. После коррекции к временным рядам было применено преобразование Гилберта, позволяющее получить огибающую сигнала, которая после снижения временного разрешения до 1 с [Brookes et al., 2011] использовалась для расчета корреляций. В качестве области интереса (ОИ), при расчете коннективности брали точки, расположенные в центрах дефолт системы (MNI координаты) — медиальная префронтальная кора (–1, 49, –2), задняя часть поясной извилины (–5, –53, 41) и левая (–45, –71, 35) и правая (45, –71, 35) латеральная парietальная кора. Координаты этих точек взяли из опубликованных фМРТ-исследований [Corbetta, Shulman, 2002; Fox et al., 2005]. Для каждой ОИ данные усреднялись в пределах сферы диаметром 10 мм и центром в соответствующей точке и рассчитывались корреляции Пирсона между временным ходом активности в ОИ и во всех остальных вокселях. К коэффициентам корреляции была применена трансформация Фишера. Полученные карты коннективности переводили в NIFTI-формат, и статистический анализ проводили в пакете SPM-12 с использованием факторного дизайна с двумя within-subject факторами — объект оценивания (4 уровня: “Я”, “любимый”, “малознакомый” и “неприятный”) и ОИ (4 уровня: медиальная префронтальная кора, задняя часть поясной извилины, левая и правая латеральная парietальная кора). Достоверность эффектов оценивали с помощью двойного порога — на уровне вокселя ($p < 0.001$) и на уровне кластера (FWE-corrected $p < 0.01$).

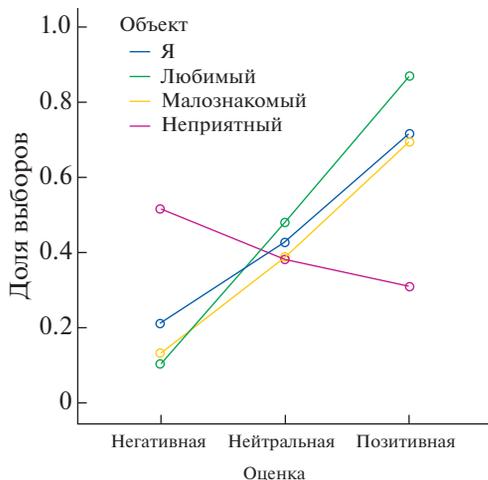


Рис. 2. Взаимодействие факторов “объект” и “тип прилагательных”.

Fig. 2. The interaction of factors “object” and “type of adjectives”.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поведенческие данные

Средние (SD) оценки, выставленные выбранным объектам в начале эксперимента, составляли: “любимый” — +4.4 (0.7), “малознакомый” — +1.2 (0.9), “неприятный” — -2.7 (1.4). Дисперсионный анализ показал высокую достоверность главного эффекта фактора “объект” и последующие попарные сравнения с помощью Т-теста для связанных выборок подтвердили, что все различия были достоверны на уровне $p < 0.001$.

Далее использовали дисперсионный анализ для повторных измерений для выявления влияния объекта оценивания (“Я”, “любимый”, “малознакомый”, “неприятный”) на долю выбора отрицательных, нейтральных, или положительных прилагательных. Факторы “объект” и “тип прилагательных” достоверно взаимодействовали друг с другом [$F(6, 240) = 95.9, p < 0.001$]. Как показано на рис. 2, для оценки неприятного человека чаще выбирали негативные прилагательные, а для всех остальных — позитивные. Интересно, что взаимодействие факторов оставалось достоверным, даже если категорию “неприятный” убрали из анализа [$F(4, 160) = 10.6, p < 0.001$]. Из рис. 2 видно, что наиболее положительно оценивали близкого человека, а себя не более положительно, чем малознакомого человека. При попарных сравнениях “Я” — “любимый” и “Я” — “малознакомый” достоверное взаимодействие факторов наблюдалось в первом [$F(2, 80) = 34.7, p < 0.001$], но не во втором [$F(2, 80) = 0.7, p = 0.506$] случае.

Такой же анализ был проведен с использованием времени реакции в качестве зависимой переменной. Достоверный главный эффект фактора “объект” [$F(3, 120) = 7.7, p < 0.001$] показывал, что испытуемые меньше думали, оценивая близкого человека (среднее = 1291, SD = 678) и себя (среднее = 1400, SD = 604), чем оценивая малознакомого человека (среднее = 1543, SD = 750) и неприятного человека (среднее = 1650, SD = 850).

Данные ЭЭГ

В начале каждого блока перед предъявлением прилагательных на экране монитора появлялась надпись, сообщающая, кого из выбранных объектов предстоит оценивать, и предлагалось в течение двух минут вспомнить этого человека и подумать о его/ее качествах. При анализе этих данных в качестве референтного интервала использовали запись ЭЭГ покоя, когда никаких заданий не давалось. Таким образом, фактор “объект” в этом случае содержал пять уровней (один из которых — отсутствие объекта). Главный эффект фактора “объект” был высоко достоверен [$F(4, 780) = 19.5, FWE$ -corrected $p < 0.001$]. Центр достоверного кластера располагался в левой средней лобной извилине (middle frontal gyrus, -25, 22, 59). По сравнению с референтным интервалом функциональные связи дефолт-системы были сильнее при обдумывании всех объектов. Кроме того, они были сильнее всего при обдумывании своих качеств по сравнению с обдумыванием других объектов (рис. 3). Достоверным было также взаимодействие факторов объекта и ОИ [$F(12, 780) = 7.1, FWE$ -corrected $p < 0.001$]. Поэтому последующий анализ был сделан для каждой ОИ отдельно. При сравнении друг с другом четырех объектов достоверный эффект выявлен для ОИ, расположенной в правой латеральной парietальной доле (lateral parietal lobule). По сравнению с другими объектами мысли о себе сопровождались наибольшим увеличением силы связи между этой ОИ и левой средней лобной извилиной [-51, 38, 33, $T(1, 195) = 3.8, FWE$ -corrected $p = 0.006$] (рис. 4).

Далее аналогичный анализ проводили для данных ЭЭГ, записанных в процессе выбора прилагательных для оценивания четырех объектов. Главный эффект фактора “объект” был высоко достоверен [$F(3, 608) = 11.0, FWE$ -corrected $p < 0.001$]. Центр достоверного кластера в данном случае располагался в правой средней лобной извилине (31, 50, -11). Интересно, что в этом случае функциональ-

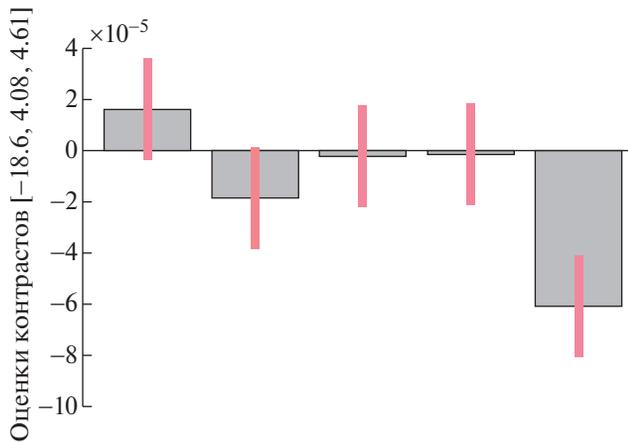


Рис. 3. Влияние фактора “объект” на функциональные связи дефолт-системы в альфа-диапазоне при обдумывании качеств разных объектов. Слева направо – “Я”, “любимый”, “малознакомый”, “неприятный”, референтный интервал.

Fig. 3. The effect of the factor “object” on the connectivity of default mode network in the alpha band during thinking about the qualities of different objects. From left to right – “I”, “beloved”, “unfamiliar”, “unpleasant”, reference interval.

ные связи дефолт-системы были наибольшими при оценивании малознакомого человека и наименьшими при оценивании себя (рис. 5). Взаимодействие факторов объекта и ОИ в данном случае было недостоверным, поэтому анализ на уровне каждой ОИ не проводился.

Далее были проведены попарные сравнения разных объектов. Сравнение объектов “Я” и “любимый” выявило более сильную связь дефолт-системы с левой ($-35, 42, 43$) и правой ($39, 6, 39$) средней лобной извилиной во втором случае [$T(1, 608) = 4.0$, FWE-corrected $p < 0.001$]. Схожие результаты получились при сравнении “Я” – “малознакомый” [$29, 50, -13$, $T(1, 608) = 5.7$, FWE-corrected $p < 0.001$]. При контрасте “Я” – “неприятный” достоверный кластер выявился в правой верхней лобной извилине [superior frontal gyrus, $13, -6, 73$, $T(1, 608) = 11.0$, FWE-corrected $p < 0.001$]. При контрасте “Я” по сравнению со всеми остальными объектами центр достоверного кластера лежал в правой средней лобной извилине [$41, 6, 39$, $T(1, 608) = 5.2$, FWE-corrected $p < 0.001$]. При контрасте “малознакомый” по сравнению с “любимый” и “неприятный” выявлена более сильная связь дефолт-системы с правой средней лобной извилиной в первом случае [$31, 48, -9$, $T(1, 608) = 3.1$, FWE-corrected $p = 0.010$].

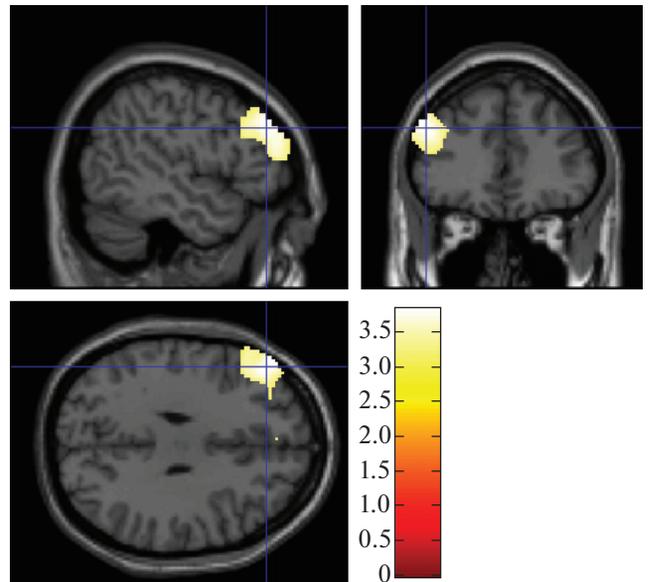


Рис. 4. Локализация достоверного кластера при контрастировании “Я” по сравнению с “все остальные” при обдумывании качеств разных объектов для семени, расположенного в правой латеральной парietальной доле. По сравнению с другими объектами мысли о себе сопровождаются наибольшим увеличением силы связи между правой латеральной парietальной долей и левой средней лобной извилиной.

Fig. 4. Localization of significant cluster contrasting “I” versus all others during thinking about quality of different objects for the seed, located in the right lateral parietal lobule. As compared with other objects self-referential thoughts are accompanied by the highest increase of the strength of connection between the right lateral parietal lobule and the left middle anterior gyrus.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Оценки, выставленные выбранным объектам в начале эксперимента, подтверждают, что испытуемые правильно поняли задание и выбрали соответствующие объекты для оценивания. Такой же общий паттерн просматривается и в процессе оценивания выбранных объектов. Как и следует ожидать, неприятный объект в среднем получает максимальные негативные и минимальные позитивные оценки, а близкий, наоборот, максимальные позитивные и минимальные негативные. Интересно, что “Я” в среднем оценивается ниже, чем близкий человек, и оценки “Я” не отличаются от оценок малознакомого человека. Анализ времени реакции показывает, что принятие решений при оценивании малознакомого и неприятного человека в среднем требовало больше времени, чем принятие решений при оценивании себя и близкого чело-

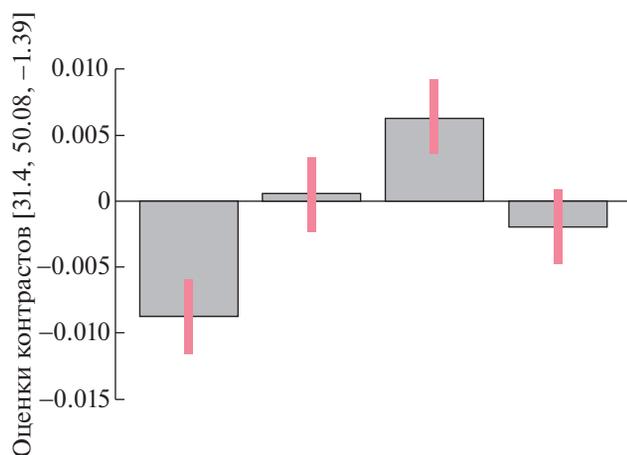


Рис. 5. Влияние фактора “объект” на функциональные связи дефолт-системы в альфа-диапазоне в процессе оценивания с использованием предъявляемых прилагательных. Слева направо – “Я”, “любимый”, “малознакомый”, “неприятный”.

Fig. 5. The effect of the factor object on the connectivity of default mode network in the alpha band during the assessment process with using the presented adjectives. From left to right – “I”, “beloved”, “unfamiliar”, “unpleasant”.

века, что объясняется, вероятно, большей неопределенностью выбора в первом случае.

При интерпретации данных коннективности мы исходим из того, что большая выраженность функциональных связей между определенными областями мозга в процессе выполнения экспериментального задания является свидетельством большего обмена информацией между этими областями и, таким образом, большего их включения в процесс [Bassett et al., 2011], что, в соответствии с теорией нейрональной эффективности [Neubauer, Fink, 2009], обычно интерпретируется как свидетельство привлечения дополнительных ресурсов при решении более трудной задачи. С этой интерпретацией согласуется тот факт, что по сравнению с референтным интервалом, функциональные связи дефолт-системы были больше при обдумывании всех объектов.

Интересно, что при обдумывании качеств разных объектов наибольшее увеличение коннективности дефолт-системы выявлено при обдумывании своих качеств по сравнению с обдумыванием других объектов. При оценивании же разных объектов с использованием предъявляемых прилагательных оценивание себя, наоборот, сопровождалось наименьшим уровнем коннективности по сравнению с другими объектами. Разница между этими процессами состоит в том, что в

первом случае испытуемый должен сознательно построить образ оцениваемого объекта и удерживать его в памяти в течение двух минут, а во втором случае выборы делаются динамично и, вероятно, на основе интуитивных решений. Можно думать, что для большинства людей на интуитивном уровне легче решить, какие качества им присущи, а какие нет, в то время как создание связанного образа себя требует интроспективной оценки, что труднее, чем создание образа других людей. Однако эта *post hoc* интерпретация, безусловно, является спекулятивной, и вопрос требует дальнейшего исследования.

Правая латеральная париетальная доля, в которой находилась ОИ, показавшая наиболее достоверный результат при обдумывании качеств разных объектов, в значительной степени перекрывается с правым височно-теменным стыком (*temporo-parietal junction*), который участвует в процессах “модели психического” (*theory of mind*) и активируется, когда люди ставят себя на место других и пытаются угадать мысли и намерения других людей [Saxe, 2006; Van Overwalle, Baetens, 2009]. Средняя лобная извилина, в которой выявились достоверные эффекты, участвует в обеспечении рабочей памяти [Voisguehenneuc et al., 2006; Harms et al., 2013]. Увеличение силы связи между правой латеральной париетальной корой и средней лобной извилиной может свидетельствовать о том, что при размышлениях о собственных качествах испытуемые пытались представить, что о них могут думать другие люди и удерживали эту информацию в рабочей памяти.

Из рис. 5 видно, что при оценивании качеств разных объектов функциональные связи между дефолт-системой и средней лобной извилиной больше всего при оценивании малознакомого человека достоверно меньше при оценивании близкого и неприятного человека, которых испытуемый знает достаточно хорошо, и меньше всего при оценивании себя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом полученные данные являются еще одним подтверждением участия дефолт-системы и альфа-осцилляций в процессах самосознания и социального познания. Они показывают, что как при размышлениях в покое, так и при динамической оценке качеств разных персонажей, активируются связи в альфа-диапазоне между дефолт-системой и структурами латеральной префронтальной коры, участвующими в процессах рабочей памяти. Степень активации этих связей мак-

симальна при динамической оценке мало-знакомому человеку и при обдумывании собственных качеств.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) № 17-18-01019. Разработка методов анализа данных ЭЭГ поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) № 18-00-00939.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Курганский А.В.* Функциональная организация мозга человека в состоянии покоя. Журн. высш. нервн. деят. им. И.П. Павлова. 2018. 68 (5): 567–580.
- Мартынова О.В., Сушинская-Тетерева А.О., Балаев В.В., Иваницкий А.М.* Корреляция функциональной связности областей мозга, активных в состоянии покоя, с поведенческими и психологическими показателями. Журн. высш. нервн. деят. им. И.П. Павлова. 2016. 66 (5): 541–555.
- Разумникова О.М., Пусикова М.В.* Современные представления о социальном интеллекте и социальной креативности: значение тормозных функций в социальной адаптации. Теоретическая и экспериментальная психология. 2018. 11 (1): 67–84.
- Basar E.* Brain function and oscillations. II. Integrative brain function. Neurophysiology and cognitive processes. Berlin: Springer, 1999.
- Bassett D.S., Wymbs N.F., Porter M.A., Mucha P.J., Carlson J.M., Grafton S.T.* Dynamic reconfiguration of human brain networks during learning. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2011. 108: 7641–7646.
- Bartels A., Zeki S.* The neural correlates of maternal and romantic love. NeuroImage. 2004. 21: 1155–1166.
- Boisgueheneuc F.D., Levy R., Volle E., Seassau M., Duffau H., Kinkingnehun S., Samson Y., Zhang S., Dubois B.* Functions of the left superior frontal gyrus in humans: a lesion study. Brain. 2006. 129 (12): 3315–3328.
- Brookes M.J., Hale J.R., Zumer J.M., Stevenson C.M., Francis S.T., Barnes G.R., Owen J.P., Morris P.G., Nagarajan S.S.* Measuring functional connectivity using MEG: methodology and comparison with fcMRI. Neuroimage. 2011a. 56: 1082–1104.
- Brookes M.J., Woolrich M., Luckhoo H., Price D., Hale J.R., Stephenson M.C., Barnes G.R., Smith S.M., Morris P.G.* Investigating the electrophysiological basis of resting state networks using magnetoencephalography. PNAS. 2011b. 108 (40): 16783–16788.
- Brookes M.J., Liddle E.B., Hale J.R., Woolrich M.W., Luckhoo H., Liddle P.F., Morris P.G.* Task induced modulation of neural oscillations in electrophysiological brain networks. Neuroimage. 2012. 63 (4): 1918–1930.
- Buckner R.L., Andrews-Hanna J.R., Schacter D.L.* The brain's default network: anatomy, function and relevance to disease. Ann. New York Acad. Sci. 2008. 1124: 1–38.
- Corbetta M., Shulman G.L.* Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. Nature reviews neuroscience. 2002. 3 (3): 201–215.
- Debener S., Ullsperger M., Siegel M., Fiehler K., von Cramon D.Y., Engel A.K.* Single-trial EEG/fMRI reveals the dynamics of cognitive function. Trends Cogn. Sci. 2006. 10: 558–563.
- Decety J., Cowell J.M.* Empathy, justice, and moral behavior. AJOB Neuroscience. 2015. 6: 3–14.
- Delorme A., Makeig S.* EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. J. Neurosci. Methods. 2004. 134: 9–21.
- De Pasquale F., Della Penna S., Snyder A.Z., Lewis C., Mantini D., Marzetti L., Belardinelli P., Ciancetta L., Pizzella V., Romani G.L., Corbetta M.* Temporal dynamics of spontaneous MEG activity in brain networks. PNAS. 2010. 107 (13): 6040–6045.
- Fox M.D., Snyder A.Z., Vincent J.L., Corbetta M., Van Essen D.C., Raichle M.E.* The human brain is intrinsically organized into dynamic, anticorrelated functional networks. PNAS. 2005. 102 (27): 9673–9678.
- Gallagher H.L., Frith C.D.* Functional imaging of 'theory of mind'. Trends in Cognitive Sciences. 2003. 7: 77–83.
- Gentili C., Ricciardi E., Gobbini M.I., Santarelli M.F., Haxby J.V., Pietrini P., Guazzelli M.* Beyond amygdala: Default Mode Network activity differs between patients with Social Phobia and healthy controls. Brain Res. Bull. 2009. 79: 409–413.
- Greene J.D., Sommerville R.B., Nystrom L.E., Darley J.M., Cohen J.D.* An fMRI investigation of emotional engagement in moral judgment. Science. 2001. 293: 2105–2108.
- Harms M.P., Wang L., Csernansky J.G., Barch D.M.* Structure–function relationship of working memory activity with hippocampal and prefrontal cortex volumes. Brain Structure and Function. 2013. 218 (1): 173–186.
- Harrison B.J., Pujol J., Lopez-Sola M., Hernandez-Ribas R., Deus J., Ortiz H., Soriano-Mas C., Yucel M., Pantelis C., Cardoner N.* Consistency and functional specialization in the default mode brain network. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 2008. 105: 9781–9786.
- Hipp J.F., Hawellek D.J., Corbetta M., Siegel M., Engel A.K.* Large-scale cortical correlation structure of spontaneous oscillatory activity. Nat. Neurosci. 2012. 15 (6): 884–890.
- Kennedy D.P., Courchesne E.* Functional abnormalities of the default network during self- and other-reflection in autism. Soc. Cogn. Affect. Neurosci. 2008. 3: 177–190.
- Kennedy D.P., Redcay E., Courchesne E.* Failing to deactivate: resting functional abnormalities in autism. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 2006. 103: 8275–8280.

- Knyazev G.G.* EEG correlates of self-referential processing. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2013. 7: 264.
- Knyazev G.G.* Motivation, emotion, and their inhibitory control mirrored in brain oscillations. *Neuroscience Biobehav. Rev.* 2007. 31: 377–395.
- Knyazev G.G., Savostyanov A.N., Bocharov A.V., Tamozhnikov S.S., Saprigyn A.E.* Task-positive and task-negative networks and their relation to depression: EEG beamformer analysis. *Behav. Brain Res.* 2016. 306: 160–169.
- Knyazev G.G., Savostyanov A.N., Bocharov A.V., Brak I.V., Osipov E.A., Filimonova E.A., Saprigyn A.E., Aftanas L.I.* Task-positive and task-negative networks in major depressive disorder: A combined fMRI and EEG study. *Journal of Affective Disorders*. 2018. 235: 211–219.
- Knyazev G.G., Slobodskoj-Plusnin J.Y., Bocharov A.V., Pylkova L.V.* The default mode network and EEG alpha oscillations: an independent component analysis. *Brain Research*. 2011. 1402: 67–79.
- Mitchell J.P.* Mentalizing and Marr: an information processing approach to the study of social cognition. *Brain Research*. 2006. 1079: 66–75.
- Neubauer A.C., Fink A.* Intelligence and neural efficiency. *Neurosci Biobehav Rev.* 2009. 33: 1004–1023.
- Northoff G., Bermpohl F.* Cortical midline structures and the self. *Trends Cogn. Sci.* 2004. 8: 102–107.
- Northoff G., Heinzl A., de Greck M., Bermpohl F., Döbrowolny H., Panksepp J.* Self-referential processing in our brain – a meta-analysis of imaging studies on the self. *NeuroImage*. 2006. 31: 440–457.
- Qin P., Northoff G.* How is our self related to midline regions and the default-mode network? *Neuroimage*. 2011. 57 (3): 1221–1233.
- Rilling J.K., Sanfey A.G., Aronson J.A., Nystrom L.E., Cohen J.D.* The neural correlates of theory of mind within interpersonal interactions. *NeuroImage*. 2004. 22: 1694–1703.
- Sass L.A., Parnas J.* Schizophrenia, consciousness, and the self. *Schizophrenia Bulletin*. 2003. 29: 427–444.
- Saxe R.* Uniquely human social cognition. *Current opinion in neurobiology*. 2006. 16 (2): 235–239.
- Siems M., Pape A.A., Hipp J.F., Siegel M.* Measuring the cortical correlation structure of spontaneous oscillatory activity with EEG and MEG. *Neuroimage*. 2016. 129: 345–355.
- Spreng R.N., Mar R.A., Kim A.S.N.* The common neural basis of autobiographical memory, prospection, navigation, theory of mind, and the default mode: A quantitative meta-analysis. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2009. 21: 489–510.
- Van Overwalle F., Baetens K.* Understanding others' actions and goals by mirror and mentalizing systems: a meta-analysis. *Neuroimage*. 2009. 48 (3): 564–584.
- van Veluw S.J., Chance S.A.* Differentiating between self and others: an ALE meta-analysis of fMRI studies of self-recognition and theory of mind. *Brain Imaging and Behavior*. 2014. 8: 24–38.
- Wahlun K., Kristiansson M.* Aggression, psychopathy and brain imaging – Review and future recommendations. *International Journal of Law and Psychiatry*. 2009. 32: 266–271.
- Wens V., Mary A., Bourguignon M., Goldman S., Marty B., Op D.B.M., Bogaert P.V., Peigneux P., De Tieghe X.* About the electrophysiological basis of resting state networks. *Clin. Neurophysiol.* 2014. 125 (8): 1709–1714.

EEG CORRELATES OF DMN ACTIVITY DURING SELF AND OTHER PROCESSING

G. G. Knyazev^{a,#}, A. V. Bocharov^{a,b}, A. N. Savostyanov^{a,b}, and E. A. Levin^c

^a Federal State Budgetary Scientific Institution “Scientific Research Institute of Physiology and Basic Medicine”, Novosibirsk, Russia

^b Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

^c E.N. Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russia

[#]e-mail: knyazev@physiol.ru

The distinction between the Self and others is in the heart of social cognition. Existing evidence links these processes with the so-called default mode network (DMN). Here, using EEG data, DMN connectivity in the alpha frequency band was investigated during thinking about own qualities and qualities of other people and during dynamic evaluation of these qualities by means of presented adjectives. In the former case, DMN connectivity between the DMN and the lateral prefrontal cortex was most increased during thinking about own qualities, as compared to qualities of others. In the latter case, on the contrary, self-evaluation was accompanied by the smallest level of DMN connectivity, whereas the highest level was observed during evaluation of a stranger. This results show that connectivity between the DMN and the lateral prefrontal cortex in the alpha frequency band is involved in both cases, but the degree of its involvements depends on the complexity of the task, which is maximal for the dynamic evaluation of a stranger and for the contemplating own qualities.

Keywords: social cognition, default mode network, EEG, alpha oscillations, connectivity