

УДК 612.821

DOI 10.5281/ZENODO.20788463

БЕТА-РИТМ КАК НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ МАРКЕР АКТИВАЦИИ ДЕФОЛТ-СИСТЕМЫ МОЗГА

Манюхина Е. Ф., Тум М. В., Куличенко А. М., Павленко В. Б.

***ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Российская Федерация
E-mail: vprav55@gmail.com***

Изучали взаимосвязи между уровнем самореферентного мышления (СРМ), предполагающим активацию дефолт-системы мозга, чертами личности и особенностями электроэнцефалограммы (ЭЭГ) у испытуемых разных национальностей, проживающих в Республике Крым. Показатели СРМ положительно коррелировали с уровнем моральной нормативности по опроснику Кеттелла, уровнями подозрительности и враждебности по тесту Басса-Дарки. Выявлены статистически значимые взаимосвязи между активностью головного мозга в диапазоне бета-ритма ЭЭГ и склонностью к СРМ.

Ключевые слова: дефолт-система мозга, самореферентное мышление, ЭЭГ, бета-ритм.

ВВЕДЕНИЕ

Дефолт-система мозга (ДСМ), также известная как сеть пассивного режима работы или «режима по умолчанию», представляет собой нейронную сеть, обеспечивающую нормальное функционирование мозга в условиях отсутствия внешней сенсорной стимуляции. Отличительной особенностью ДСМ является то, что она снижает свою активность во время когнитивной деятельности, связанной с восприятием текущих событий окружающего мира [1]. С другой стороны, данная нейронная сеть увеличивает свою активность в условиях относительного покоя, например, когда испытуемого просят расслабиться и ни о чем не думать. Как известно каждому из личного опыта, при этом мыслительный процесс не прекращается. Установлено, что ДСМ играет ключевую роль в формировании таких процессов как самореферентное мышление (СРМ) и способность регулировать собственное эмоциональное состояние [2].

СРМ – это разновидность интроспективного мышления, направленного обдумывание собственных проблем, возможного будущего и т.п. К функциям СРМ относят: категоризацию полученного опыта, формирование адекватного ответа на социально значимые раздражители, формирование «Я-идентичности» человека. В результате информация, воспринимаемая как релевантная для формирования «Я-идентичности», получает более высокий приоритет при обработке, легко внедряется в имеющиеся ассоциативные связи и быстро извлекается [3]. Наряду с позитивными сторонами СРМ необходимо отметить, что данный вид мышления при чрезмерной выраженности может переходить в руминацию. Руминация – это

навязчивое мышление, включающее повторяющиеся мысли или темы, которые мешают другим формам умственной деятельности. Как правило, она связана с тревожными размышлениями либо о будущем, либо о прошлом негативном опыте. Выявлена связь между навязчивыми размышлениями и активацией ДСМ [4].

Компоненты ДСМ впервые были выявлены с помощью томографии на основе функционального магнитного резонанса – как оказалось, у людей в состоянии покоя при закрытых глазах формируются крупные нейронные сети с повышенной активностью [5]. Функционирование ДСМ обеспечивается несколькими взаимосвязанными путями, которые интегрируют и координируют активность ряда структур мозга. Основным регулятором деятельности ДСМ выступает кортико-стриато-таламо-кортикальный контур, представляющий собой замкнутую петлю, объединяющую префронтальную зону коры головного мозга, базальные ганглии и таламус. Данный контур обеспечивает баланс между процессами возбуждения и торможения, регулируя уровень внимания и когнитивной гибкости [6].

Помимо описанного выше контура, в состав ДСМ входят: задняя часть цингулярной коры, дорсомедиальная префронтальная кора, гиппокамп и миндалевидное тело. Задняя часть цингулярной коры играет важную роль в обработке эмоциональных стимулов и формировании эмоциональной памяти, что делает данную область критически значимым компонентом ДСМ. Дорсомедиальная префронтальная кора участвует в формировании чувства стыда, эмпатии и усвоения социальных норм поведения. Префронтальная кора в целом интегрирует данные психические компоненты, обеспечивая адаптивное социальное взаимодействие. Гиппокамп является центральным элементом системы долговременной памяти. Данная структура обеспечивает формирование логических связей между событиями, адаптацию к новым условиям на основе предыдущего опыта и интеграцию сенсорной информации. Гиппокамп также играет важную роль в регуляции эмоционального состояния и когнитивной гибкости, что делает его ключевым компонентом ДСМ [7]. Миндалевидное тело или амигдала, регулирует интенсивность реакции на эмоционально значимые стимулы, формирует чувство страха и тревожности, а также осуществляет активацию симпатической нервной системы. Усиление активности амигдалы может приводить к повышению уровня тревожности и снижению эффективности функционирования ДСМ [8].

Дисфункции ДСМ, вызванные такими факторами, как расстройства развития, нейродегенеративные заболевания или тяжелые психические травмы, могут проявляться в повышенной тревожности, снижении самоконтроля и когнитивных нарушениях. Чрезмерная активация ДСМ в некоторых случаях может приводить к появлению симптомов психоневрологических заболеваний [9]. При обсессивно-компульсивном расстройстве наблюдается дисбаланс в активности кортико-стриато-таламо-кортикального контура. Это приводит к чрезмерной сосредоточенности на повседневных задачах (обсессиям) и формированию стереотипных ритуалов для снижения уровня тревожности (компульсиям) [10]. Данные функциональных нейровизуализационных исследований указывают на то, что с аномальным функционированием ДСМ связаны слуховые вербальные галлюцинации [11]. У больных шизофренией в состоянии покоя чрезмерно

увеличивается активность и повышается коннективность в передних медиальных областях коры, что говорит о гиперактивации ДСМ, приводящей к появлению бреда и галлюцинаций. При дебюте заболеваний относящихся к спектру тревожных расстройств, выраженность депрессивной симптоматики коррелирует с доминированием ДСМ в правой височной доле коры [12]. У испытуемых с посттравматическим стрессорным расстройством нейровизуализационные исследования выявляют измененную активность медиальной префронтальной и задней поясной коры в состоянии покоя, а также патологические паттерны связности между дефолт-системой, сетью выявления значимости стимулов и центральной исполнительской сетью [13]. Указывают, что данное расстройство характеризуется дисфункцией дефолт-системы, связанной с навязчивыми воспоминаниями о травматическом событии, избеганием связанных с травмой стимулов и изменениями самоидентичности.

Как отмечалось выше, особенности активации ДСМ впервые описали на основе функциональной томографии. В тоже время данные, полученные при регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в условиях относительного покоя и предположительной активации структур ДСМ остаются противоречивыми. Указывают [14], что с процессами внутренне ориентированного мышления и автобиографической памяти связан рост тета-ритма в медиальных структурах височной доли и фронтальной коры, а также рост функциональной связности дельта-ритма в сетях покоя. В другом исследовании [15], в условиях, предполагающих активацию ДСМ, выявлено увеличение мощности бета- и падение мощности альфа-ритмов. Некоторые авторы [16] также наблюдали в подобных условиях снижение мощности альфа-ритма в слуховой коре и одновременное повышение мощности в тета-диапазоне в медиальной префронтальной коре. В тоже время по результатам исследований Г. Г. Князева с коллегами [17] при росте уровня СРМ и активации ДСМ, выявленной по результатам параллельно проводимой функциональной томографии, мощность альфа-осцилляций растет. По мнению указанных авторов, десинхронизация альфа-ритма при открывании глаз или при выполнении когнитивной задачи сопровождается подавлением работы ДСМ и активацией систем, ориентированных на обработку внешней информации. Также, недостаточно изученным остается вопрос о том, каким образом в биоэлектрической активности структур дефолт-системы отражаются индивидуально-типологические особенности личности.

Исходя из вышеизложенного, целью исследования явилось изучение взаимосвязи между уровнем СРМ, предполагающим активацию ДСМ, чертами личности и особенностями ЭЭГ у испытуемых разных национальностей, проживающих в Республике Крым. Поскольку часть испытуемых, как правило, относивших себя к украинцам, прибыли в Крым из тех регионов, где недавно проходили боевые действия, особый интерес представляли особенности ЭЭГ у этой группы. Также одной из задач исследования явилось установление на основе электромагнитной томографии низкого разрешения (LORETA) пространственной локализации глубоких источников электрической активности мозга у испытуемых с высоким уровнем СРМ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В эксперименте участвовало 63 испытуемых в возрасте от 18 до 45 лет, 11 представителей мужского пола и 52 – женского. По национальной принадлежности 42 испытуемых отнесли себя к русским, 12 – к украинцам и 9 – к крымским татарам. Все процедуры, выполненные в исследовании, соответствуют этическим стандартам. Каждый участник исследования дал добровольное информированное согласие после получения разъяснений о характере предстоящего исследования.

Регистрацию ЭЭГ осуществляли с помощью электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр – 5», ЭЭГ-потенциалы отводили монополярно в 19-ти отведениях по системе 10–20. На испытуемого накладывались чашечковые электроды в лобных, теменных, височных, центральных и затылочных зонах (Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, T5, P3, Pz, P4, T6, O1, O2). После непродолжительного мониторинга начинали запись. Испытуемого просили сидеть спокойно, с открытыми глазами в течение 1 минуты. После этого просили закрыть глаза, расслабиться, не думать о чем-то конкретном. Запись велась в течение 3 минут.

После окончания эксперимента испытуемым предлагали заполнить опросник склонности к СРМ [18]. Указанный опросник нами был несколько сокращен (до 18 вопросов) и адаптирован под задачи эксперимента. Максимально возможное количество баллов по шкале СРМ – 30. Также испытуемые в дистанционном режиме на сайте «Психологические тесты онлайн» (<https://psytests.org>) заполняли 16-факторный личностный тест Кеттелла, опросник на уровень тревожности Спилберга – Ханина и тест Басса-Дарки для оценки враждебности.

Артефакты в ЭЭГ-записи, полученной при закрытых глазах испытуемого, устраняли при визуальном просмотре и с помощью метода анализа независимых компонент (Independent Components Analysis, ICA) в пакете EEGLAB toolbox (<http://www.sccn.ucsd.edu/eeglab/>). Затем определяли мощность альфа-, дельта-, тета-, бета- и гамма-ритмов ЭЭГ.

Для статистического анализа использовался пакет STATISTICA (версия 10). В зависимости от вида распределения данных (определяли по тесту Шапиро-Уилка) использовали параметрические или непараметрические критерии. Для установления взаимосвязей между переменными использовался корреляционный анализ. Для установления степени влияния разных факторов на показатели ЭЭГ использовался дисперсионный анализ (ANOVA). При этом с целью нормализации данных ЭЭГ применяли логарифмическое преобразование. Для оценки влияния психологических факторов личности, испытуемых делили на группы относительно медианного значения – с низким и высоким показателем фактора. Для локализации центров генерации ритмов ЭЭГ использовалась программа LORETA (low resolution brain electromagnetic tomography). Программа находится в свободном доступе (<https://www.uzh.ch/keyinst/loreta>).

Остальные подробности методики описаны ранее [19].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Средний уровень СРМ у всех испытуемых составил $16,15 \pm 0,66$ баллов при крайних значениях 6–26 баллов. Уровень СРМ у испытуемых, относивших себя к

русским, оказался $16,0 \pm 0,66$, к украинцам – $16,7 \pm 0,99$, к крымским татарам – $16,0 \pm 1,98$ баллов. Применение теста Краскела-Уоллиса не выявило статистически значимых различий между группами ($p=0,23$). Таким образом, у участников исследования, прибывших из новых регионов России, не выявлено повышенной склонности к СРМ, которую часто связывают с посттравматическим стрессорным расстройством.

Применение рангового критерия Спирмена выявило следующие значимые взаимосвязи уровня СРМ и личностных особенностей испытуемых. Показатели СРМ положительно коррелировали с уровнем моральной нормативности (G фактор) по опроснику Кеттела ($r = 0,283$, при $p = 0,021$), уровнями подозрительности и враждебности по тесту Басса-Дарки (в обоих случаях $r = 0,382$, при $p = 0,002$). Моральная нормативность характеризует настойчивое стремление к соблюдению моральных требований [20]. Таким образом, если человек склонен к высокоморальному поведению, дисциплинированности и обязательности, то его ответ на раздражитель всегда будет держаться в рамках его сильной «Я-идентичности». Однако чрезмерная моральная нормативность может сочетаться с повышенной подозрительностью и враждебностью [21]. Подозрительность представляет собой состояние недоверия и настороженности в межличностных отношениях, при котором индивид предполагает потенциальную угрозу со стороны окружающих. Если человек склонен к подозрительности, то его внимание часто направляется вовнутрь, к своим ощущениям и мыслям, что активирует работу дефолт-системы мозга. Кажется, будто все окружающее может нести угрозу, поэтому постоянное внимание к деталям, способность моделировать негативные ситуации кратно повышается. Также может расти враждебность – обобщенная негативная и недоверчивая установка по отношению к другим людям [22]. Постоянные переживания, руминация и склонность видеть во всем угрозу могут быть взаимосвязаны с гиперактивацией ДСМ, приводя к повышению тревожности, подозрительности и появлению желания чрезмерно контролировать окружающую действительность.

При определении корреляции между показателями СРМ и значениями мощности ритмов мозга на основе расчета коэффициента корреляции Пирсона были получены статистически значимые результаты для бета-ритма в отведениях О1 ($r = 0,271$ при $p = 0,030$) и F7 ($r = 0,266$ при $p = 0,034$). Усиление бета-ритма свидетельствует о повышенной психической активности, часто связанной с напряженной обработкой информации [16]. Отведение О1 соответствует затылочной зоне коры, а также глубинным источникам ритма в задней части цингулярной коры и гиппокампе. Отведение F7 соответствует дорсомедиальной части префронтальной коры, являющейся функциональной частью ДСМ. Два очага, в затылочной и префронтальной зоне, являются центрами наиболее мощного вклада бета-ритма в паттерн ЭЭГ. Можно заключить, что активация СРМ сопровождается увеличением мощности бета-ритма в отведениях, соответствующих функциональным компонентам ДСМ. Представляется возможным соотнести работу ДСМ и активность исполнительный сети мозга, центрами которой являются

фронтальные и каудальные области коры [23]. Качество и содержание СРМ зависят от индивидуальных особенностей функционирования ДСМ.

Для определения влияния уровня СРМ на ритмы ЭЭГ использовался ANOVA с факторами ГРУППА (низкий и высокий уровень СРМ), ЛОКУС (19 отведений) и их взаимодействие. Результаты анализа подтвердили значимое влияние уровня СРМ на мощность бета-ритма, что подтверждает приведенные выше результаты корреляционного исследования (табл. 1).

Таблица 1

Результаты дисперсионного анализа влияния склонности к самореферентному мышлению на показатели мощности ритмов ЭЭГ

ГРУППА	ЛОКУС	ГРУППА × ЛОКУС
ДЕЛЬТА-РИТМ		
$F_{1, 54} = 1,872;$ $p = 0,176$	$F_{18, 97} = 22,347;$ $p < 0,001$	$F_{18, 97} = 0,972;$ $p = 0,49$
ТЕТА-РИТМ		
$F_{1, 54} = 1,16;$ $p = 0,286$	$F_{18, 97} = 28,23;$ $p < 0,001$	$F_{18, 97} = 1,32;$ $p = 0,164;$
АЛЬФА-РИТМ		
$F_{1, 54} = 1,035;$ $p = 0,313$	$F_{18, 97} = 37,36;$ $p < 0,001$	$F_{18, 97} = 0,82;$ $p = 0,676$
БЕТА-РИТМ		
$F_{1, 54} = 1,42;$ $p = 0,237$	$F_{18, 97} = 33,047;$ $p < 0,001$	$F_{18, 97} = 1,901;$ $p = 0,012$
ГАММА-РИТМ		
$F_{1, 54} = 0,058;$ $p = 0,809$	$F_{18, 97} = 14,44;$ $p < 0,001$	$F_{18, 97} = 0,739;$ $p = 0,771$

Примечание: значимые эффекты взаимодействия психологического фактора и зоны отведения ЭЭГ отмечены жирным шрифтом

Показатели мощности бета-ритма в разных отведениях у испытуемых с низким и высоким уровнем СРМ представлены на рисунке 1. Из рисунка видно, что у испытуемых, склонных к напряженному размышлению о своих проблемах, мощность данного ритма увеличена во всех отведениях. Результаты дисперсионного анализа с применением метода контрастов показали значимость различий в отведении О1.

Наши результаты согласуются с данными других исследователей [24], которые показали, что руминация в неклинической выборке молодых людей была связана с увеличением бета-ритма в нервных путях между ДСМ и центральной исполнительной сетью. Такая связь может стать причиной перехода от навязчивых размышлений к психопатологической уязвимости.

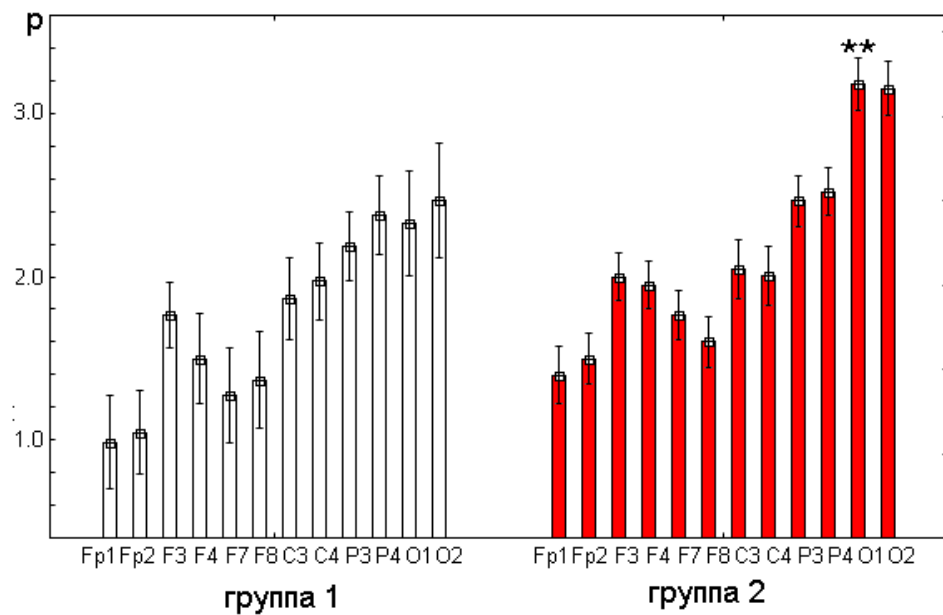


Рис. 1. Мощность (p) бета-ритма ЭЭГ у испытуемых с низким (группа 1, белые столбики) и высоким (группа 2, красные столбики) уровнем самореферентного мышления.

По вертикали – логарифмированные значения мощности бета-ритма (среднее и ошибка среднего), по горизонтали – часть отведений ЭЭГ. ** – различия между группами значимы при $p < 0,01$.

Для подтверждения полученных данных на основе метода выделения независимых компонентов (ICA) в программе EEGLAB построена карта спектральной мощности бета-ритма испытуемого с высоким уровнем СРМ, где отображены основные центры генерации ритма (рис. 2). Как видно из рисунка, у испытуемого с высоким уровнем СРМ наблюдаются обширные очаги генерации бета-ритма в зонах, соответствующих фронтальным и затылочным отведениям (F7 и O1).

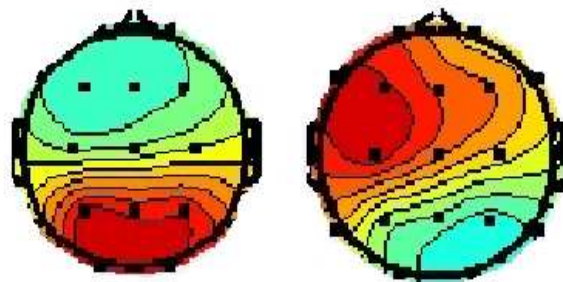


Рис. 2. Карта выраженности независимого компонента бета-ритма (13–30 Гц) у испытуемого И.С. с высоким уровнем самореферентного мышления. Красным цветом отмечены очаги максимальной генерации бета-ритма.

С помощью метода LORETA построена усредненная карта глубинных источников ритма для группы из 27 испытуемых с высоким уровнем СРМ (рис. 3).

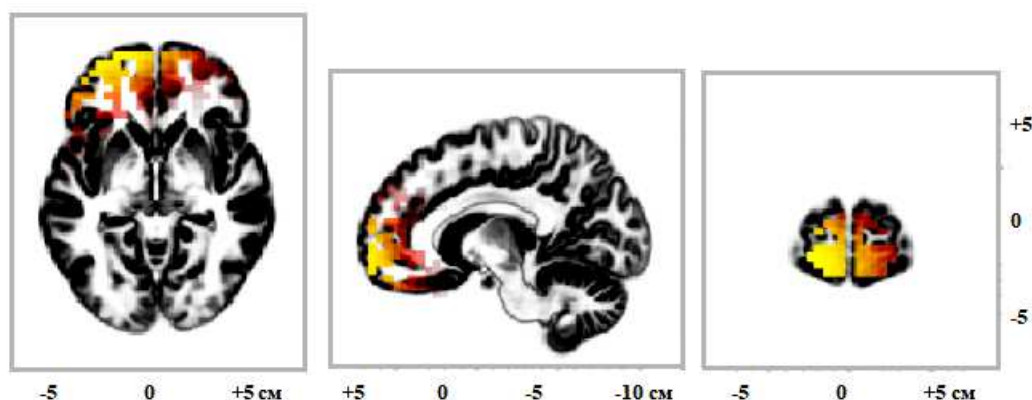


Рис. 3 Электромагнитная томограмма мозга низкого разрешения построенная на основании записей ЭЭГ 27 испытуемых с высоким уровнем самореферентного мышления.

Желтым цветом на томограмме отмечены очаги генерации бета-ритма. Слева показан виртуальный срез в горизонтальной, посередине – в сагитальной, справа – во фронтальной плоскости.

Анализ томограмм, выполненных с использованием технологии LORETA, показал, что основной источник генерации бета-ритма находится в дорсомедиальной части префронтальной коры, что согласуется с выявленными взаимосвязями СРМ с мощностью бета-ритма в отведении F7. Это соответствует данным предыдущих нейрофизиологических исследований, подчеркивающих значимость префронтальных областей коры в регуляции когнитивных функций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При активации СРМ в ЭЭГ испытуемых фиксируется повышение уровня бета-ритма в затылочных и фронтальных отведениях, соответствующих функциональным структурам ДСМ. Основные центры генерации ритма располагаются в отведениях О1 и F7, что подтверждается картами коры мозга, построенными на основе выделения независимых компонент. При изучении электромагнитной томограммы испытуемых с высоким уровнем СРМ во фронтальных отведениях выявлен очаг высокой выраженности бета-ритма. Можно предположить, что активная работа ДСМ вызывает у некоторых индивидов повышение уровня СРМ. Такие люди отличаются повышенной моральной нормативностью, но склонны к излишней подозрительности из-за высокого уровня тревожности.

Данное исследование может быть полезным для понимания роли ДСМ в развитии тревожных расстройств, посттравматического стрессового расстройства и

других нарушений поведения человека, а также разработки методов коррекции на основе биологической обратной связи по ЭЭГ.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского» в рамках инициативной темы № 126060421664-2 «Закономерности и механизмы адаптации организма к факторам разной природы»

Список литературы

1. Курганский А. В. Функциональная организация мозга человека в состоянии покоя / А. В. Курганский // *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова*. – 2018. – Т. 68, № 5. – С. 567–580.
2. Raji T. T. Dorsomedial prefrontal cortex supports spontaneous thinking per se / T. T. Raji, T. J. J. Riekk // *Hum. Brain Mapp.* – 2017. – Vol. 38, No. 6. – P. 3277–3288.
3. Сацукевич А. Опыт самореферентного сознания / А. Сацукевич // *Философская антропология*. – 2022. – Т. 8, № 1. – С. 62–76.
4. Zhou H. X. Rumination and the default mode network: Meta-analysis of brain imaging studies and implications for depression / H. X. Zhou, X. Chen, Y. Q. Shen [et al.] // *NeuroImage*. – 2020. – Vol. 206. – Art. 116287.
5. Mantini D. Electrophysiological signatures of resting state networks in the human brain / D. Mantini, M. G. Perrucci, C. Del Gratta [et al.] // *M. Proc. Nat. Acad. Sci. U. S. A.* – 2007. – Vol. 104, No. 32. – P. 13170–13175.
6. Альбертин С. В. Интегративные функции кортико-стрио-таламо-кортикальной системы мозга / С. В. Альбертин // *Успехи физиологических наук*. – 2021. – Т. 52, № 4. – С. 54–71.
7. Николаева Е. И. Дефолтная сеть (сеть пассивного режима работы мозга). Обзор иностранных источников / Е. И. Николаева // *Комплексные исследования детства*. – 2019. – Т. 1, № 1. – С. 80–84.
8. Жукова Д. И. Особенности дефолт-системы мозга у лиц с перфекционистскими установками / Д. И. Жукова // *Дифференциальная психология и психофизиология сегодня: способности, образование, профессионализм*. – 2021. – Т. 1, № 1. – С. 422–425.
9. Raine A. Reduced prefrontal gray matter volume and reduced autonomic activity in antisocial personality disorder / A. Raine, T. Lencz, S. Bihle [et al.] // *Arch. Gen. Psychiatry*. – 2000. – Vol. 57, No. 2. – P. 119–127.
10. Ishii R. Network-pluralistic psychiatry: linking genetics, brain connectivity, and psychosocial context / R. Ishii // *Mental Health and Well-Being*. – 2025. – Vol. 7, No. 5. – P. 123–145.
11. Варганов А. В. Особенности организации дефолт-системы мозга в связи с выраженностью бреда и галлюцинаций при шизофрении / А. В. Варганов, М. Д. Крысько, Д. А. Леонович [и др.] // *Клиническая и специальная психология*. – 2025. – Т. 14, № 3. – С. 136–153.
12. Бочаров А. В. Связь депрессии, тревожности и руминации с показателями коннективности осцилляторных сетей покоя / А. В. Бочаров, Г. Г. Князев, А. Н. Савостьянов [и др.] // *Физиология человека*. – 2021. – Т. 47, № 2. – С. 16–21.
13. Щербакова А. М. Нарушения социального познания при посттравматическом стрессовом расстройстве: систематический обзор / А. М. Щербакова, И. С. Короткова // *Психология посттравматического стресса: методология, теория, практика : материалы конференции*. – 2025. – С. 398–405.
14. Fox M. D. The human brain is intrinsically organized into dynamic, anticorrelated functional networks / M. D. Fox, A. Z. Snyder, J. L. Vincent // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2018. – Vol. 102, No. 27. – P. 9673–9678.
15. Hipp J. F. Oscillatory synchronization in large-scale cortical networks predicts perception / J. F. Hipp, A. K. Engel, M. Siegel // *Neuron*. – 2011. – Vol. 69, No. 2. – P. 387–396.

16. Sadaghiani S. Distributed and antagonistic contributions of ongoing activity fluctuations to auditory stimulus detection / S. Sadaghiani, G. Hesselmann, A. Kleinschmidt // *J. Neurosci.* – 2009. – Vol. 29, No. 42. – P. 13410–13417.
17. Князев Г. Г. ЭЭГ-корреляты активности дефолт-системы при обработке социально значимой информации / Г. Г. Князев, А. В. Бочаров, А. Н. Савостьянов [и др.] // *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова.* – 2020. – Т. 70, № 2. – С. 174–181.
18. Knyazev G. G. Extraversion and anterior vs. posterior DMN activity during self-referential thoughts / G. G. Knyazev // *Frontiers in Human Neuroscience.* – 2013. – Vol. 6, No. 348. – P. 1–10.
19. Тум М. В. Психофизиологические особенности восприятия понятий, имеющих социальную значимость, у представителей разных национальностей, проживающих в Республике Крым / М. В. Тум, А. М. Куличенко, В. Б. Павленко // *Вестник психофизиологии.* – 2025. – № 3. – С. 66–73.
20. Резазаде З. Обусловленность психических состояний моральной нормативностью / З. Резазаде, Л. Ф. Баянова // *Психологические исследования.* – 2017. – Т. 10, № 53. – С. 1–10.
21. Свободный Ф. К. Определение психологических склонностей личности преступника с помощью методики Басса – Дарки / Ф. К. Свободный // *Психопедагогика в правоохранительных органах.* – 2001. – Т. 16, № 2. – С. 114–117.
22. Кабачкова А. В. Влияние уровня двигательной активности на пространственное распределение бета-ритма электроэнцефалограммы / А. В. Кабачкова, Г. С. Лалаева, А. Н. Захарова // *Известия ТулГУ. Физическая культура. Спорт.* – 2016. – № 1. – С. 50–57.
23. Daigle K. M. Central Executive Network and Executive Function in Patients With Alzheimer’s Disease and Healthy Individuals: Meta-Analysis of Structural and Functional MRI / K. M. Daigle, M. O. Pietrzykowski, A. B. Waters [et al.] // *J. Neuropsychiatry Clin. Neurosci.* – 2022. – Vol. 34, No. 3. – P. 204–213.
24. Imperatori C. Brooding rumination as a mediator of the association between default mode and central executive network connectivity and general psychopathology: a resting state EEG study / C. Imperatori, E. De Rossi, G. Allegrini [et al.] // *Journal of Affective Disorders* – 2026. – Vol. 394, Pt A. – Art. 120535.

BETA RHYTHM AS A NEUROPHYSIOLOGICAL MARKER OF BRAIN DEFULT SYSTEM ACTIVATION

Manyukhina E. F., Tum M. V. Kulichenko A. M., Pavlenko V. B.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: vpav55@gmail.com*

The default mode network (DMN) is active during rest and less so during external tasks, playing a key role in self-referential thinking (SRM) and emotional regulation. Excessive SRM can lead to rumination, linked to DMN activation. DMN activity is regulated by the corticostriatal-thalamocortical circuit and involves key structures: the posterior cingulate cortex (emotional processing), dorsomedial prefrontal cortex (empathy and social norms), hippocampus (memory and cognitive flexibility), and amygdala (emotional responses). DMN dysfunction is associated with obsessive-compulsive disorder, schizophrenia (hyperactivation and hallucinations), anxiety/depressive disorders, and post-traumatic stress disorder (altered activity and connectivity). EEG findings on DMN are inconsistent: some studies report theta/delta increases and beta increase/alpha decrease, while others note alpha increase with higher SRM. The study aims to investigate relationships between SRM, personality traits, and EEG characteristics in a diverse

Crimean sample (including individuals from conflict zones) and to localise deep brain activity sources in high-SRM subjects using LORETA.

The study involved 63 participants (aged 18–45; 11 males, 52 females): 42 Russians, 12 Ukrainians, and 9 Crimean Tatars. All procedures complied with ethical standards and obtained voluntary informed consent. EEG was recorded using a Neuron-Spectrum – 5 device at 19 leads in two stages: 1 minute with eyes open (sitting quietly), followed by 3 minutes with eyes closed (relaxing without focused thoughts). Post-experiment, participants completed: a shortened SRM questionnaire (18 items, max 30 points), the 16-Personality Factor (Cattell) test, the Spielberger-Khanin Anxiety Inventory, and the Buss-Durkee Hostility Inventory online. EEG artifacts (eyes-closed data) were removed via visual inspection and ICA (EEGLAB toolbox). Power of alpha, delta, theta, beta, and gamma rhythms was then determined. Statistical analysis (STATISTICA 10) included Shapiro-Wilk testing for distribution type, followed by parametric/non-parametric tests, correlation analysis, and ANOVA. EEG data were log-transformed for normalization; participants were split into low/high groups by median values. LORETA was used to localize EEG rhythm sources.

Activation of the DMN is associated with increased beta-rhythm levels in occipital and frontal EEG leads (key sources localised at O1 and F7, confirmed by EEGLAB cortical maps). In participants with high SRM levels, a prominent beta-rhythm focus was detected in frontal leads. High DMN activity correlates with elevated SRM, which is linked to heightened moral normativity but also to excessive suspicion due to high anxiety and rumination. The findings enhance understanding of the DMN's role in anxiety disorders, PTSD, and other behavioural disturbances, and may inform EEG-based biofeedback correction methods.

Keywords: default brain system, self-referential thinking, EEG, beta rhythm.

References

1. Kurgansky A. V., Functional organization of the human brain in the resting state, *Journal of Higher Nervous Activity named after I. P. Pavlov*, **68**, 567 (2018).
2. Raj T. T., Riekk T. J., Dorsomedial prefrontal cortex supports spontaneous thinking per se, *Human Brain Mapping*, **38**, 3277 (2017).
3. Satsukevich A., The experience of self referential consciousness, *Philosophical Anthropology*, **8**, 62 (2022).
4. Zhou H. X., Chen X., Shen Y. Q. and Li L., Rumination and the default mode network: Meta-analysis of brain imaging studies and implications for depression. *NeuroImage*, **206**, 116287 (2020).
5. Mantini D., Perrucci M. G., Del Gratta C. and Romani G. L., Corbetta M., Electrophysiological signatures of resting state networks in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **104**, 13170 (2007).
6. Albertin S. V., Integrative functions of the corticostriatal thalamocortical brain system, *Advances in Physiological Sciences*, **52**, 54 (2021).
7. Nikolaeva E. I., The default mode network (resting state network): A review of foreign sources, *Complex Childhood Studies*, **1**, 80 (2019).
8. Zhukova D. I., Features of the default mode brain network in individuals with perfectionist attitudes, *Differential Psychology and Psychophysiology Today: Abilities, Education, Professionalism*, **1**, 422 (2021).

9. Raine A., Lencz T., Bihle S. and LaCasse L., Colletti P., Reduced prefrontal gray matter volume and reduced autonomic activity in antisocial personality disorder, *Archives of General Psychiatry*, **57**, 119 (2000).
10. Ishii R., Network-pluralistic psychiatry: linking genetics, brain connectivity, and psychosocial context, *Mental Health and Well-Being*, **7**, 123 (2025).
11. Vartanov A. V., Krysko M. D., Leonovich D. A., and Shevaldova O. V. et al. Features of the organization of the default mode brain network in relation to the severity of delusions and hallucinations in schizophrenia. *Clinical and Special Psychology*, **14**, 136 (2025).
12. Bocharov A. V., Knyazev G. G., Savostyanov A. N., and Saprygin A. E. et al. The relationship between depression, anxiety, rumination and connectivity measures of resting state oscillatory networks. *Human Physiology*, **47**, 16 (2021).
13. Shcherbakova A. M., Korotkova I. S. Impairments in social cognition in post traumatic stress disorder: A systematic review. *Psychology of Post Traumatic Stress: Methodology, Theory, Practice: Conference Proceedings*, 398 (2025).
14. Fox M. D., Snyder A. Z., Vincent J. L., The human brain is intrinsically organized into dynamic, anticorrelated functional networks, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **102**, 9673 (2018).
15. Hipp J. F., Engel A. K., Siegel M., Oscillatory synchronization in large-scale cortical networks predicts perception, *Neuron*, **69**, 387 (2011).
16. Sadaghiani S., Hesselmann G., Kleinschmidt A., Distributed and antagonistic contributions of ongoing activity fluctuations to auditory stimulus detection, *Journal of Neuroscience*, **29**, 13410 (2009).
17. Knyazev G. G., Bocharov A. V., Savostyanov A. N. and Levin E. A. EEG correlates of default mode network activity during processing of socially significant information. *Journal of Higher Nervous Activity named after I. P. Pavlov*, **70**, 174 (2020).
18. Knyazev G. G. Extraversion and anterior vs posterior DMN activity during self-referential thoughts, *Frontiers in Human Neuroscience*, **348**, 1 (2013).
19. Tum M. V., Kulichenko A. M., Pavlenko V. B. Psychophysiological features of perception of socially significant concepts among representatives of different nationalities living in the Republic of Crimea. *Bulletin of Psychophysiology*, **3**, 66 (2025).
20. Rezazadeh Z., Bayanova L. F. The conditioning of mental states by moral normativity. *Psychological Studies*, **10**, 1 (2017).
21. Svobodny F. K. Determination of psychological inclinations of a criminal's personality using the Bass-Darky method. *Psychopedagogy in Law Enforcement*, **16**, 114 (2001).
22. Kabachkova A. V., Lalaeva G. S., Zakharova A. N. The influence of physical activity level on the spatial distribution of the EEG beta rhythm. *Izvestiya TlSU. Physical Culture. Sport*, **1**, 50 (2016).
23. Daigle K. M., Pietrzykowski M. O., Waters A. B. and Swenson L. P., Gansler D. A., Central Executive Network and Executive Function in Patients With Alzheimer's Disease and Healthy Individuals: Meta-Analysis of Structural and Functional MRI, *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, **34**, 20 (2022).
24. Imperatori C., De Rossi E., Allegrini G. and Carbone G. A., Brooding rumination as a mediator of the association between default mode and central executive network connectivity and general psychopathology: a resting state EEG study, *Journal of Affective Disorders*, **394**, 120535 (2026)