

ФИЗИОЛОГИЯ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ (КОГНИТИВНОЙ) ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

УДК 612.821

ОСОБЕННОСТИ БАЛАНСА СЕТЕЙ ПОКОЯ ПОСЛЕ ПЕРЕЕЗДА В УСЛОВИЯ СЕВЕРА

© 2023 г. А. В. Бочаров^{1, 3, *}, А. Н. Савостьянов^{1, 2, 3}, С. С. Таможников¹,
А. Г. Карпова⁴, А. Е. Сапрыгин^{1, 2}, Н. С. Милахина², Е. А. Заварзин¹,
П. Д. Рудыч³, Е. А. Меркулова¹, Г. Г. Князев¹

¹Научно-исследовательский институт нейронаук и медицины, Новосибирск, Россия

²Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

³Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

⁴Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
Северо-Восточный Федеральный Университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

*e-mail: bocharovav@neuronm.ru

Поступила в редакцию 25.08.2022 г.

После доработки 05.12.2022 г.

Принята к публикации 27.02.2023 г.

В исследовании приняли участие 45 студентов (все мужчины) разных национальностей (в основном таджики и киргизы) в возрасте от 17 до 28 лет, которые переехали в условия Севера (г. Якутск, Республика Саха (Якутия)). Целью исследования было изучение баланса коннективности сетей покоя в первом условии, когда участники исследования попали в новые непривычные условия пребывания, и во втором условии — по прошествии одного года пребывания в этих условиях. 128-канальная ЭЭГ была записана в состоянии покоя. Рассчитывалась коннективность между узлами сетей покоя и остальным мозгом. Было проведено сравнение коннективностей сетей внимания с дефолт-системой мозга в первом и во втором условии. В первом условии было выявлено преобладание сетей внимания над дефолт-системой мозга, что может быть связано с усилением внимания, ориентированного на восприятие новых стимулов и задач в новых условиях. Во втором условии, спустя один год пребывания в данных условиях среды, баланс сетей покоя смещался в сторону преобладания дефолт-системы мозга над сетями внимания.

Ключевые слова: ЭЭГ, дефолт-система мозга, сети внимания, сети покоя, коннективность

DOI: 10.31857/S0044467723030036, **EDN:** TOOFNI

ВВЕДЕНИЕ

Сети покоя интенсивно изучаются в последние два десятилетия, и предполагается, что когнитивные процессы обеспечиваются регуляторными взаимодействиями различных сетей мозга (Fox et al., 2005). На данный момент наиболее изученной сетью является дефолт-система мозга (ДСМ), которая была открыта в 2001 г. Так, в серии фМРТ-экспериментов состояния покоя была выделена сеть структур головного мозга, в состав которой входят медиальная лобная кора, задняя поясная извилина, предклинье, медиальная, латеральная и нижняя части теменной коры. В связи с тем, что ДСМ показывает устойчивый паттерн снижения своей активности при выполнении большого разнообразия внеш-

неориентированных задач, ее также называют и сетью, снижающей активность при решении задач (task-negative network). В состоянии покоя такой паттерн снижения активности ДСМ сменяется увеличением активности в этих структурах (Raichle et al., 2001). В исследованиях было обнаружено, что по сравнению с состоянием покоя большее увеличение активности/коннективности ДСМ наблюдается во время самореферентной обработки информации, например, при извлечении из памяти личных воспоминаний, относящихся к собственному Я, и/или связанных с отношениями с другими людьми, а также при обдумывании важных событий и планов на будущее, а также при “внутренних” эмоциональных состо-

ниях (Buckner et al., 2008; Northoff et al., 2006; Raichle, 2015; Schacter et al., 2008).

Другой сетью, показывающей противоположный ДСМ рисунок активации, является центральная исполнительная сеть (ЦИС). В отличие от ДСМ, ЦИС увеличивает свою активность при решении задач, в связи с чем ее называют сетью, связанной с выполнением заданий (task-positive network). ЦИС состоит из областей дорсолатеральной лобной и задних областей теменной коры. ЦИС активна во время выполнения когнитивных задач более высокого уровня и участвует в когнитивном контроле, включая эмоциональную регуляцию (Dailey et al., 2018; Pan et al., 2018; Smitha et al., 2017).

Существует еще одна сеть структур головного мозга, которая определяет степень нашего внимания на определенные или релевантные на данный момент стимулы. Ключевой структурой этой сети, известной как сеть значимости (СЗ), является островковая кора. Предполагается, что сеть значимости играет важную роль в обнаружении важных стимулов и координации фокуса внимания путем регуляции активности и вовлеченности вышеперечисленных сетей покоя, таких как ДСМ, которая связана с интроспективными процессами и “внутренним” самореферентным вниманием, и ЦИС, которая связана с внешненаправленными процессами внимания и регуляцией поведения (Seeley, 2019; Menon, 2022). Также была показана роль СЗ в контроле когнитивных процессов (Smitha et al., 2017) и участие в процессах обработки эмоциональной информации (Cauda et al., 2011; Pan et al., 2018).

Согласно современным представлениям, сети покоя могут взаимодействовать, и их баланс может динамически меняться и зависит от состояния организма (Knyazev et al., 2020; Menon, 2018). Согласно модели взаимодействия трех сетей покоя (Menon, 2011, 2018), антагонистические взаимодействия между ДСМ, которая связана с “внутри”-направленным вниманием, и сетями (ЦИС и СЗ), связанными с внешнеориентированным вниманием, могут быть описаны в терминах “баланса” и “доминирования”. В контексте активности баланс ДСМ — сети внимания (ЦИС и СЗ) можно оценить, выявив степень активации в ДСМ и/или сетях внимания (ЦИС и СЗ). Что касается коннективности, это фактически сводится к выявлению областей коры, которые сильнее связаны с сетями

внимания (СВ), чем с ДСМ, и наоборот (Knyazev et al., 2020). Изучение баланса сетей покоя может дать дополнительную информацию о текущем состоянии организма.

Особенности сетей покоя достаточно хорошо изучены в состоянии покоя и при эмоциональных расстройствах, однако особенности баланса коннективности сетей покоя при попадании человека в новую среду пребывания и коллектив остаются малоизученными. В текущем исследовании планируется изучить особенности баланса коннективности сетей покоя у участников исследования в первое время после переезда в новые непривычные условия пребывания, где средняя зимняя температура равна -35°C , тогда как до этого они жили в более мягких условиях, и спустя один год пребывания в данных условиях.

Согласно современным представлениям о СВ, как ответственных за процессы внешнеориентированного внимания (Smitha et al., 2017), мы предполагаем, что коннективность СВ по сравнению с коннективностью ДСМ в первый год, во время приспособления к новым условиям среды, когда индивид встречается с большим количеством новых стимулов и задач, будет повышена со структурами мозга, которые участвуют в процессах восприятия и обработки значимых стимулов, а спустя год проживания в данных условиях среды и коллектива такой эффект будет менее выражен.

Таким образом, целью исследования является проверка преобладания коннективности СВ над ДСМ во время попадания в новые условия пребывания и спустя один год нахождения в таких условиях.

МЕТОДИКА

Участники исследования

ЭЭГ была записана в состоянии покоя у 45 студентов (все мужчины) в возрасте от 17 до 28 лет (средний возраст 21.2, $SD = 3.1$) в первом условии — при переезде на обучение в г. Якутск (Республика Саха) — и спустя один год пребывания там. Среди участников исследования было 24 таджика, 9 киргизов, 4 египтянина, 4 туркмена и по одному афганцу, индонезийцу, йеменцу и перуанцу. Участники исследования были правшами с нормальным или скорректированным до нормы зрением, в анкете они отметили, что были

здоровы и не употребляли психоактивных веществ накануне исследования.

Исследование соответствует этическим нормам Хельсинкской декларации и было проведено с информированного согласия испытуемых и одобрено локальным биоэтическим комитетом Института цитологии и генетики СО РАН (Новосибирск).

Запись ЭЭГ

Многоканальный усилитель биопотенциалов Нейровизор (NVX, Россия) со шлемом из 128 электродов, расположенных согласно международной системе 10–5, был использован для записи ЭЭГ. Полоса пропускания – от 0.1 до 100 Гц, частота дискретизации – 1000 Гц. Cz-электрод был выбран в качестве референта, один электрод был использован для записи вертикальной окулограммы.

Анализ данных

Артефакты удаляли с помощью анализа независимых компонент в программе EEGLab. После удаления артефактов ЭЭГ-данные фильтровались в пяти стандартных частотных диапазонах с использованием фильтра Butterworth и функции *filtfilt* (программа Matlab), которая позволяет фильтровать данные в прямом и обратном направлении для минимизации фазовых искажений. Частота дискретизации была снижена до 125 Гц. В качестве модели головы использовали модель граничных элементов (Fuchs et al., 2001). Кортикальная сетка содержала 5124 вершины и была получена из шаблона, основанного на модели мозга Монреальского неврологического института (MNI). Локализация корковых источников электрической активности производилась методом формирователя пучка (*beamformer*, (Van Veen et al., 1997)) в пакете DAiSS. Ковариационные матрицы были рассчитаны с использованием 5-минутных данных ЭЭГ состояния покоя с открытыми глазами. Регуляризация осуществлялась с помощью лямбда-значений 0.05% усредненной дисперсии сигнала по всем каналам (Litvak et al., 2010). Временной ряд каждого источника проецировался в направлении диполя, объясняющего наибольшую дисперсию, что эквивалентно определению наибольшего собственного вектора. Коррекция “утечки сигнала”, возникающая вследствие плохого пространственного разрешения метода лока-

лизации источников, была произведена с помощью метода ортогонализации (Brookes et al., 2011; Hipp et al., 2012). После ортогонализации применялась трансформация Гилберта и рассчитывалась огибающая сигнала (*envelope*), которая после снижения частоты оцифровки до 1 с использовалась для построения карт коннективности (Brookes et al., 2011, 2012).

Карты коннективности рассчитывались между каждым из узлов сетей покоя (область интереса) и всем остальным мозгом. Для ДСМ в качестве “областей интереса” были выбраны медиальная лобная кора (–1, 49, –2), задняя часть поясной извилины (–5, –53, 41), левая (–45, –71, 35) и правая (45, –71, 35) латеральная теменная кора (Gusnard, Raichle, 2001). Для ЦИС в качестве “области интереса” были использованы левая (–36, 27, 29) и правая (36, 27, 29) дорсолатеральная лобная кора, а для СМЗ – левая (–32, 24, –6) и правая (37, 25, –4) островковая кора (Seeley et al., 2007). 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 были пространственно сглажены (FWHM 8 мм). Полученные карты коннективности переводили в NIFTI-формат, и статистический анализ второго уровня проводили в пакете SPM-12. Карты коннективности каждой из областей интереса вводились как внутрисубъектный фактор. Фактор состоял из двух уровней (ДСМ и СВ). F-контраст был использован для выявления интересующих эффектов. Достоверность эффектов оценивали с помощью двойного порога – на уровне вокселя ($p < 0.001$) и на уровне кластера (Family-wise error (FWE) corrected $p < 0.05$). Более детальное описание метода исследования можно найти в статьях (Knyazev et al., 2016; Князев и др., 2020).

Основываясь на результатах предыдущих исследований осцилляторных сетей покоя (Knyazev et al., 2016, 2018) и на данных об участии дельта-ритма в обнаружении значимых стимулов и процессах гомеостаза (для обзора см. (Knyazev, 2012)), анализ ограничился проверкой гипотез только в дельта-частотном диапазоне (1–4 Гц).

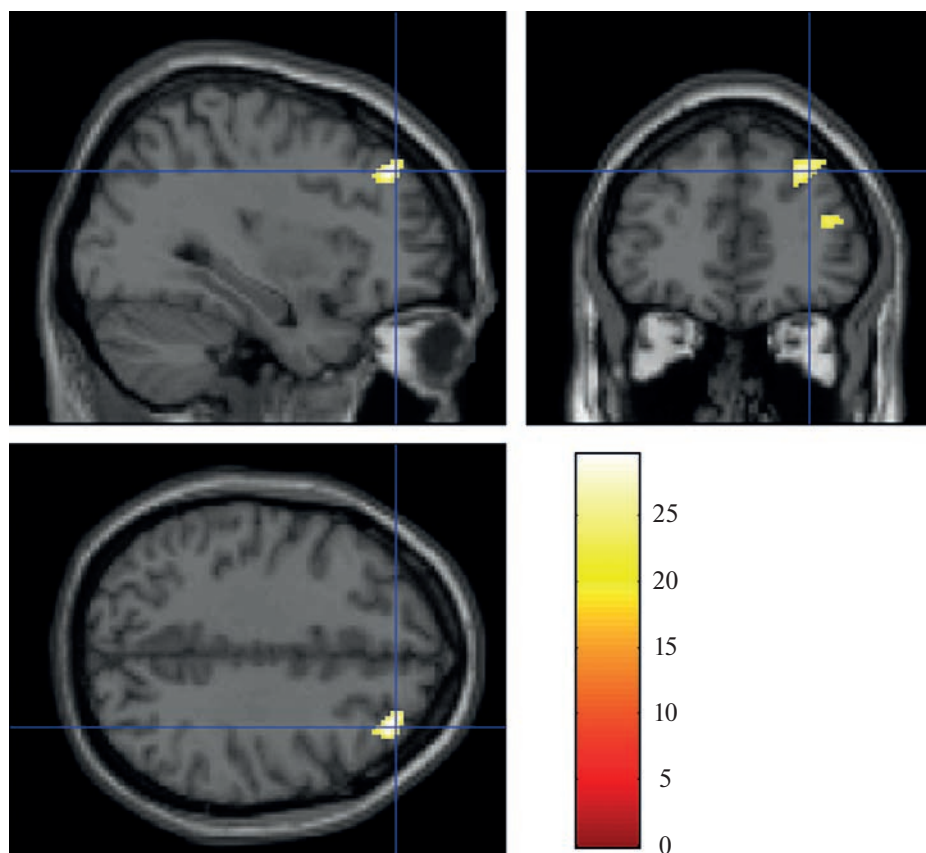


Рис. 1. Баланс доминирования СВ над ДСМ в первый год (F-контраст СВ vs ДСМ) в кластерах статистически значимых различий, локализованных в средней лобной извилине ([33, 38, 39] p-FWE кластера = 0.003, [41, 40, 17] p-FWE кластера = 0.009, [37, 24, 41] p-FWE кластера = 0.023).

Fig. 1. Balance of dominance AN over DMN in the first year (F contrast AN vs DMN) in clusters of statistically significant differences localized in the middle frontal gyrus ([33, 38, 39] p-FWE cluster = 0.003, [41, 40, 17] p-FWE cluster = 0.009, [37, 24, 41] p-FWE cluster = 0.023).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Дисперсионный анализ для выявления баланса доминирования сетей покоя (F-контраст СВ vs ДСМ) был проведен в первом условии (при попадании в новые условия) и во втором условии (спустя 1 год пребывания в данных условиях) отдельно.

Было выявлено, что в первом условии (при попадании в новые условия) коннективность СВ преобладала над коннективностью ДСМ в кластерах, локализованных в правой дорсолатеральной лобной коре (Middle Frontal Gyrus) (BA 8, $x = 33$, $y = 38$, $z = 39$, $k = 120$, $F(1, 736) = 29.5$, p-FWE кластера = 0.003), (BA 10, $x = 41$, $y = 40$, $z = 17$, $k = 58$, $F(1, 736) = 24.45$, p-FWE кластера = 0.009) и (BA 8, $x = 37$, $y = 24$, $z = 41$, $k = 17$, $F(1, 736) = 23.17$, p-FWE кластера = 0.023) (рис. 1). Результаты всех статистических сравнений, проделанных в работе, приведены в табл. 1. На рис. 2 и 3 по-

казаны оценки контрастов СВ и ДСМ в первый и во второй год в выявленных кластерах средней лобной извилины [41.4, 42, 16.6] и [33, 38, 39].

Сравнение коннективностей СВ vs ДСМ во втором условии спустя год пребывания в новых условиях среды выявил преобладание коннективности ДСМ над СВ в задней цингулярной коре (Posterior cingulate cortex BA 30, $x = -15$, $y = -52$, $z = 13$, $k = 17$, $F(1, 736) = 22.2$, p-FWE кластера = 0.023) (рис. 4).

Были проведены статистические сравнения коннективности СВ первого условия (при попадании в новые условия) и СВ второго условия (спустя 1 год пребывания в данных условиях) (F-контраст СВ1 vs СВ2). В результате сравнений была выявлена большая коннективность СВ при попадании в новые условия по сравнению с коннективностью СВ спустя 1 год пребывания в данных услови-

Таблица 1. Результаты статистических сравнений
Table 1. Results of statistical comparisons

Локализация	XYZ	Размер кластера	Величина F -критерия	p-FWE кластера
СВ 1-й год vs. ДСМ 1-й год				
Средняя лобная извилина	33, 38, 39	120	29.5	0.003
Средняя лобная извилина	41, 40, 17	58	24.45	0.009
Средняя лобная извилина	37, 24, 41	17	23.17	0.023
ДСМ 2-й год vs. СВ 2-й год				
Задняя поясная извилина	-15, -52, 13	17	22.2	0.023
СВ 1-й год vs. СВ 2-й год				
Прецентральная извилина	-11, -28, 67	106	15.65	0.065
Медиальная лобная извилина	-7, -18, 63		14.5	
ДСМ 1-й год vs. ДСМ 2-й год				
—	—	—	—	—

ях (F-контраст СВ1 > СВ2). При применении поправки FWE на уровне кластера выявленный результат был близок, но не достигал уровня значимости $p < 0.05$ (табл. 1). Выявленный результат был обнаружен в кластере, охватывающем левую медиальную лобную (left medial frontal gyrus $x = -7, y = -18, z = 63$, BA 6) и левую прецентральную извилины (left precentral gyrus $x = -11, y = -28, z = 67$, BA 4) ($k = 106$, $F(1, 736) = 15.65$, p-FWE cluster = 0.065) (рис. 5).

Сравнения показателей коннективности ДСМ между первым и вторым условиями (F-контраст ДСМ1 vs ДСМ2) не выявили статистически значимых различий как при применении поправки FWE на уровне кластера, так и без применения такой поправки на множественные сравнения.

Согласно полученным результатам исследования, при попадании в новые условия среды коннективность СВ по сравнению с коннективностью ДСМ была увеличена с правой дорсолатеральной корой. Тогда как во втором условии спустя один год индивид может приспособиться к условиям пребывания и коннективность СВ снижается, а баланс сетей покоя смещается в сторону преобладания ДСМ над СВ.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В нашем исследовании было выявлено, что у участников в условии, когда они попали в новую незнакомую обстановку, СВ доминировали над ДСМ, что подтверждает гипотезу, высказанную в разделе Введение. Кроме

этого, в исследовании было выявлено снижение коннективности СВ и смещение баланса сетей покоя в сторону преобладания ДСМ над СВ спустя год пребывания в этих условиях среды.

В исследованиях было многократно показано, что сети покоя, такие как сеть значимости (СЗ, SN) и центральная исполнительная сеть (ЦИС, CEN) играют важную роль в смещении внимания на “внешне”-ориентированную информацию (Clasen et al., 2014; Hamilton et al., 2013; Pilhatsch et al., 2014). Можно предположить, что преобладание коннективности СВ над ДСМ в новых, измененных условиях среды может отражать увеличение фокуса внимания, ориентированного на внешние стимулы.

В исследованиях было показано, что у пациентов с посттравматическим стрессовым расстройством (ПТСР) симптомы гипербдительности и гипервозбуждения были связаны с гиперактивацией и гиперконнективностью СЗ (Koch et al., 2016; Akiki et al., 2017; Szeszko, Yehuda, 2019). В исследовании Saviola и соавт. (2020) было обнаружено, что состояние тревоги, для которого характерно повышенное внимание к новым и/или значимым стимулам и ситуациям (Spielberger, 1984), было связано с увеличенной коннективностью СЗ, а также было обнаружено увеличение коннективности ДСМ (Saviola et al., 2020). Согласно эволюционному анализу Marks и Nesse (1994), первоначально состояние тревоги имело защитную функцию и способствовало выживанию индивида в опасных условиях

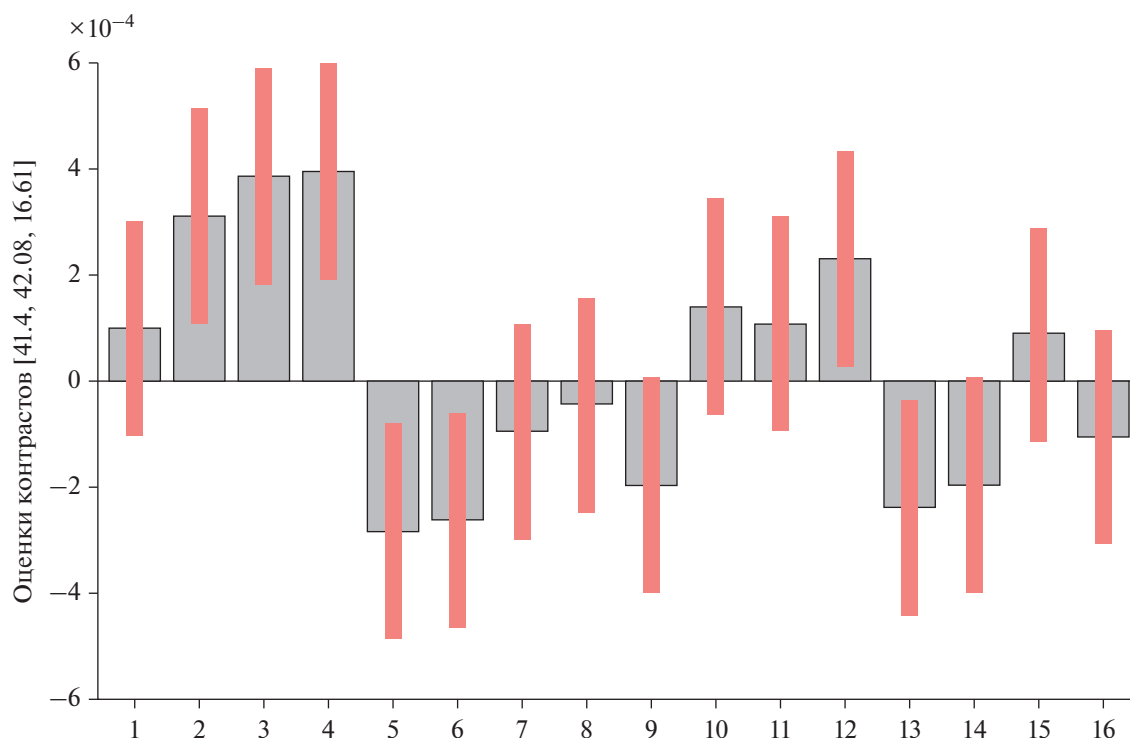


Рис. 2. Оценки контрастов СВ и ДСМ в первый и во второй год в правой дорсолатеральной лобной коре (средней лобной извилине [41.4, 40, 16.6] p -FWE кластера = 0.009). На оси абсцисс расположены области интереса: 1 – левая дорсолатеральная лобная кора (1-й год), 2 – правая дорсолатеральная кора (1-й год), 3 – левая островковая кора (1-й год), 4 – правая островковая кора (1-й год), 5 – левая латеральная теменная кора (1-й год), 6 – правая латеральная теменная кора (1-й год), 7 – медиальная лобная кора (1-й год), 8 – задняя поясная кора (1-й год), 9 – левая дорсолатеральная кора (2-й год), 10 – правая дорсолатеральная кора (2-й год), 11 – левая островковая кора (2-й год), 12 – правая островковая кора (2-й год), 13 – левая латеральная теменная кора (2-й год), 14 – правая латеральная теменная кора (2-й год), 15 – медиальная лобная кора (2-й год), 16 – задняя поясная кора (2-й год).

Fig. 2. Estimates of AN and DMN contrasts in the first and second year in the right dorsolateral prefrontal cortex (middle frontal gyrus [41.4, 40, 16.6] p -FWE cluster = 0.009). The regions of interest on the abscissa axis are: 1 – left dorsolateral prefrontal cortex (1st year), 2 – right dorsolateral prefrontal cortex (1st year), 3 – left insula (1st year), 4 – right insula (1st year), 5 – left lateral parietal cortex (1st year), 6 – right lateral parietal cortex (1st year), 7 – medial prefrontal cortex (1st year), 8 – posterior cingulate cortex (1st year), 9 – left dorsolateral prefrontal cortex (year 2), 10 – right dorsolateral prefrontal cortex (year 2), 11 – left insula (year 2), 12 – right insula (year 2), 13 – left lateral parietal cortex (year 2), 14 – right lateral parietal cortex (year 2), 15 – medial prefrontal cortex (year 2), 16 – posterior cingulate cortex (year 2).

среды (Marks, Nesse, 1994). Можно предположить, что в новых, непривычных условиях среды индивиду будет свойственна повышенная бдительность, что способствует идентификации потенциальных угроз.

Согласно гипотезе, высказанной Menon и Uddin (2010), функции СЗ, и в особенности структуры, входящей в ее состав, – островковой коры – частично сводятся к тому, чтобы воздействовать на ЦИС таким образом, чтобы выполнялся наиболее актуальный набор задач до тех пор, пока сохраняется комплекс значимых стимулов. Тогда как в ответ на сдвиги в паттерне значимости СЗ участвует в

организации необходимых перестроек в конфигурации сетей мозга и переключении на новый набор задач (Menon, Uddin, 2010). В нашем исследовании было выявлено преобладание коннективности СВ над ДСМ в правой дорсолатеральной коре, которая является структурой ЦИС. В соответствии с гипотезой Menon и Uddin (2010) о регуляции СЗ перестроек в сетях покоя, можно предположить, что увеличение коннективности между СВ и структурой, входящей в состав ЦИС, выявленное в нашем исследовании, может быть связано с взаимодействием СЗ и ЦИС при встрече со значимыми стимулами и/или

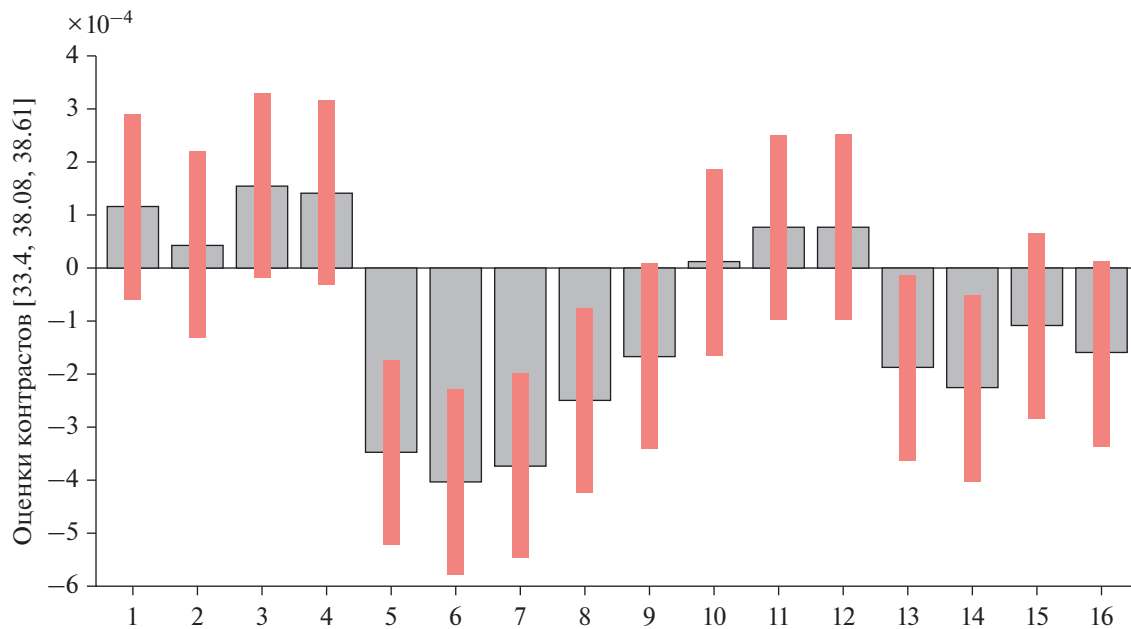


Рис. 3. Оценки контрастов СВ и ДСМ в первый и во второй год в правой дорсолатеральной лобной коре (в средней лобной извилине [33.4, 38, 39.6] p-FWE кластера = 0.003). На оси абсцисс расположены области интереса: 1 – левая дорсолатеральная кора (1-й год), 2 – правая дорсолатеральная кора (1-й год), 3 – левая островковая кора (1-й год), 4 – правая островковая кора (1-й год), 5 – левая латеральная теменная кора (1-й год), 6 – правая латеральная теменная кора (1-й год), 7 – медиальная лобная кора (1-й год), 8 – задняя поясная кора (1-й год), 9 – левая дорсолатеральная кора (2-й год), 10 – правая дорсолатеральная кора (2-й год), 11 – левая островковая кора (2-й год), 12 – правая островковая кора (2-й год), 13 – левая латеральная теменная кора (2-й год), 14 – правая латеральная теменная кора (2-й год), 15 – медиальная лобная кора (2-й год), 16 – задняя поясная кора (2-й год).

Fig. 3. Estimates of AN and DMN contrasts in the first and second year in the right dorsolateral prefrontal cortex (middle frontal gyrus [33.4, 38, 39.6] p-FWE cluster = 0.003). The regions of interest on the abscissa axis are: 1 – left dorsolateral prefrontal cortex (1st year), 2 – right dorsolateral prefrontal cortex (1st year), 3 – left insula (1st year), 4 – right insula (1st year), 5 – left lateral parietal cortex (1st year), 6 – right lateral parietal cortex (1st year), 7 – medial prefrontal cortex (1st year), 8 – posterior cingulate cortex (1st year), 9 – left dorsolateral prefrontal cortex (year 2), 10 – right dorsolateral prefrontal cortex (year 2), 11 – left insula (year 2), 12 – right insula (year 2), 13 – left lateral parietal cortex (year 2), 14 – right lateral parietal cortex (year 2), 15 – medial prefrontal cortex (year 2), 16 – posterior cingulate cortex (year 2).

актуальными задачами в новых, измененных условиях среды и коллектива (Menon, Uddin, 2010).

В исследованиях было показано, что транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС) правой дорсолатеральной коры способствовала успешной саморегуляции собственных желаний и влечений, а также регуляции негативных эмоций (Wu, 2020). Также правая дорсолатеральная кора используется в качестве мишени в ТМС при лечении ПТСР (Cohen, 2004) и аддикций (Lefaucheur et al., 2017). Так, в исследовании курильщиков сигарет было выявлено, что нисходящая (top-down) регуляция тяги к курению была связана с повышенной активацией дорсолатеральной коры (Kober et al., 2010). В исследовании

(Greenberg et al., 1998) было выявлено, что ТМС правой дорсолатеральной лобной коры у пациентов с обсессивно-компульсивным расстройством значительно снижала компульсивные симптомы и повышала настроение. Можно предположить, что смена привычных условий на новые субэкстремальные условия среды и нахождение в новом коллективе способствовали повышению уровня напряжения и стресса, под которым понимается неспецифическая реакция организма на предъявляемые ему новые задачи (Шабанов, Мороденко, 2015). Согласно гипотезе, высказанной Seeley (2019), СЗ представляет собой систему, тесно связанную с поддержанием гомеостаза (Seeley, 2019). Можно предположить, что, попадая в новые, измененные

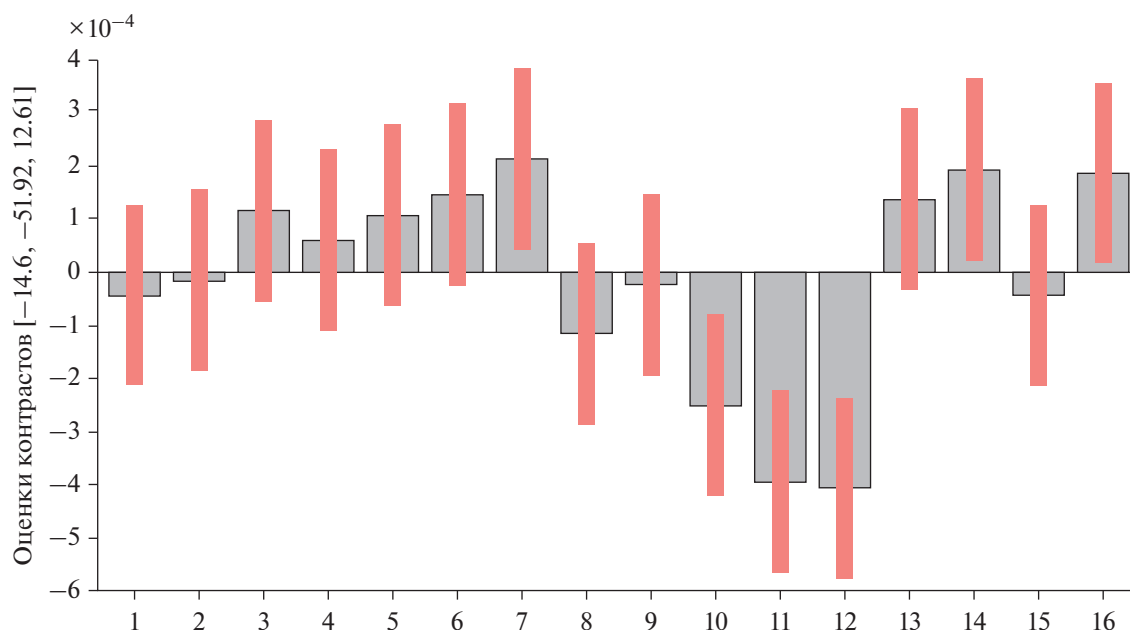


Рис. 4. Оценки контрастов СВ и ДСМ в первый и во второй год в задней поясной коре ($[-14.6, -52, 12.6]$ p-FWE кластера = 0.023). На оси абсцисс расположены области интереса: 1 — левая дорсолатеральная лобная кора (1-й год), 2 — правая дорсолатеральная лобная кора (1-й год), 3 — левая островковая кора (1-й год), 4 — правая островковая кора (1-й год), 5 — левая латеральная теменная кора (1-й год), 6 — правая латеральная теменная кора (1-й год), 7 — медиальная лобная кора (1-й год), 8 — задняя поясная кора (1-й год), 9 — левая дорсолатеральная лобная кора (2-й год), 10 — правая дорсолатеральная лобная кора (2-й год), 11 — левая островковая кора (2-й год), 12 — правая островковая кора (2-й год), 13 — левая латеральная теменная кора (2-й год), 14 — правая латеральная теменная кора (2-й год), 15 — медиальная лобная кора (2-й год), 16 — задняя поясная кора (2-й год).

Fig. 4. Estimates of AN and DMN contrasts in the first and second year in the posterior cingulate cortex ($[-14.6, -52, 12.6]$ p-FWE cluster = 0.023). The regions of interest on the abscissa axis are: 1 — left dorsolateral prefrontal cortex (1st year), 2 — right dorsolateral prefrontal cortex (1st year), 3 — left insula (1st year), 4 — right insula (1st year), 5 — left lateral parietal cortex (1st year), 6 — right lateral parietal cortex (1st year), 7 — medial prefrontal cortex (1st year), 8 — posterior cingulate cortex (1st year), 9 — left dorsolateral prefrontal cortex (year 2), 10 — right dorsolateral prefrontal cortex (year 2), 11 — left insula (year 2), 12 — right insula (year 2), 13 — left lateral parietal cortex (year 2), 14 — right lateral parietal cortex (year 2), 15 — medial prefrontal cortex (year 2), 16 — posterior cingulate cortex (year 2).

условия среды и новый коллектив людей, индивид сталкивается с необходимостью приспособления к таким изменениям и приведению организма к стабильному состоянию. Согласно исследованиям, во время адаптации к условиям северной зимы возрастание медленноволновой составляющей в паттерне ЭЭГ может быть связано с напряжением регуляторных процессов организма (Нагорнова и др., 2018; Рожков и др., 2018). Выявленное в исследовании увеличение коннективности СВ с правой дорсолатеральной корой в дельта-частотном диапазоне при попадании в новые условия среды также может быть связано с процессами регуляции состояния, и при отклонении от стабильного состояния организм стремится прийти в норму, с последую-

щим поддержанием нормального состояния в новых, измененных условиях.

Многokrатно показано, что ДСМ показывает устойчивый паттерн снижения своей активности при выполнении большого разнообразия внешнеориентированных задач и степень снижения активности ДСМ связана со сложностью выполняемой задачи, тогда как в состоянии покоя происходит увеличение активности ДСМ (Buckner et al., 2008; 2006; Raichle, 2001, 2015; Schacter et al., 2008). Можно предположить, что снижение коннективности СВ и смещение баланса сетей покоя в сторону преобладания коннективности ДСМ над СВ, выявленное во втором условии, может свидетельствовать о стабилизации состояния организма спустя год нахождения в новых условиях среды.

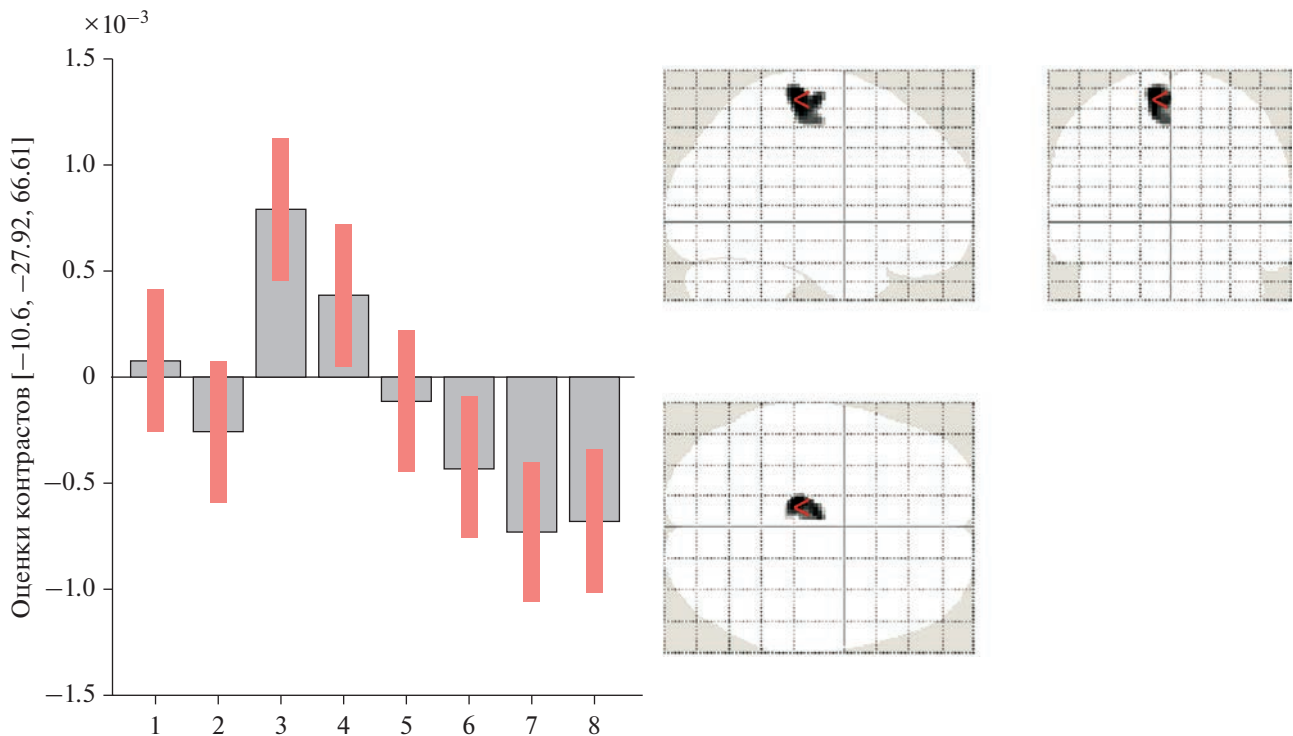


Рис. 5. Оценки контрастов СВ в первый и во второй год в прецентральной извилине ($[-10.6, -28, 67]$ p-FWE кластера = 0.065) и локализация выявленных эффектов. На оси абсцисс расположены области интереса: 1 – левая дорсолатеральная лобная кора (1-й год), 2 – правая дорсолатеральная лобная кора (1-й год), 3 – левая островковая кора (1-й год), 4 – правая островковая кора (1-й год), 5 – левая дорсолатеральная лобная кора (2-й год), 6 – правая дорсолатеральная лобная кора (2-й год), 7 – левая островковая кора (2-й год), 8 – правая островковая кора (2-й год).

Fig. 5. Estimates of contrast AN in the first year vs AN in the second year in the precentral gyrus ($[-10.6, -28, 67]$ p-FWE cluster = 0.065) and localization of the revealed effect. The regions of interest on the abscissa axis are: 1 – left dorsolateral prefrontal cortex (1st year), 2 – right dorsolateral prefrontal cortex (1st year), 3 – left insula (1st year), 4 – right insula (1st year), 5 – left dorsolateral prefrontal cortex (year 2), 6 – right dorsolateral prefrontal cortex (year 2), 7 – left insula (year 2), 8 – right insula (year 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У участников исследования при попадании в новые, незнакомые условия коннективность СВ была повышена и преобладала над коннективностью ДСМ. Можно предположить, что при попадании в новую среду происходит усиление внимания, ориентированного на внешние стимулы. Также можно предположить, что увеличенная коннективность СВ с правой дорсолатеральной корой (узел ЦИС), которая, как известно, участвует в когнитивном контроле поведения и эмоций, может быть связана с регуляцией текущего состояния организма. Тогда как снижение коннективности СВ и смещение баланса сетей покоя в сторону преобладания коннективности ДСМ над СВ, выявленное во второй год, может свидетельствовать о стабили-

зации состояния организма спустя год нахождения в этих условиях.

Ограничения трактовки результатов исследования

Интерпретации результатов ограничиваются отсутствием “исходных” показателей коннективности сетей покоя до переезда в новые условия среды, а также отсутствием дополнительных показателей уровня внимания, приспособления и стресса до и сразу после переезда в новые условия среды и спустя год пребывания в этих условиях.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ)

(проект № 22-15-00142, разработка методов анализа данных). Работа А.Н. Савостьянова, А.Е. Сапрыгина, Н.С. Милахиной поддержана из средств бюджетного проекта № FWNR-2022-0020 “Системная биология и биоинформатика: реконструкция, анализ и моделирование структурно-функциональной организации и эволюции генных сетей человека, животных, растений и микроорганизмов” в Институте цитологии и генетики СО РАН (проведение исследования).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Князев Г.Г., Бочаров А.В., Савостьянов А.Н., Левин Е.А. ЭЭГ-корреляты активности дефолт-системы при обработке социально значимой информации. Журн. высш. нерв. деят. 2020. 70 (2): 174–181.
- Нагорнова Ж.В., Шемякина Н.В., Белишева Н.К., Сороко С.И. Анализ возрастной динамики и половых особенностей спонтанной биоэлектрической активности и компонентов слуховых вызванных потенциалов у младших школьников, проживающих в Арктической зоне РФ. Физ. чел. 2018. 44 (2): 84–95.
- Рожков В.П., Трифонов М.И., Сороко С.И. Оценка формирования биоэлектрической активности мозга у школьников-северян по интегральным параметрам многоканальной ЭЭГ. Физ. чел. 2018. 44 (6): 15–26.
- Шабанов Л.В., Мороденко Е.В. Динамика изменений личности студента в процессе социальной адаптации к новым условиям жизни. Прокопьевск, 2015. С. 195.
- Akiki T.J., Averill C.L., Abdallah C.G. A network-based neurobiological model of PTSD: evidence from structural and functional neuroimaging studies. Curr. Psychiatry Rep. 2017. 19 (11): 1–10.
- 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.
- 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. 2011. 108 (40): 16783–16788.
- Buckner R.L., Andrews-Hanna J.R., Schacter D.L. The brain's default network: anatomy, function, and relevance to disease. Ann. N. Y. Acad. Sci. 2008. 1124 (1): 1–38.
- Cauda F., D'agata F., Sacco K., Duca S., Geminiani G., Vercelli A. Functional connectivity of the insula in the resting brain. Neuroimage. 2011. 55 (1): 8–23.
- Clasen P.C., Beevers C.G., Mumford J.A., Schnyer D.M. Cognitive control network connectivity in adolescent women with and without a parental history of depression. Dev. Cogn. Neurosci. 2014. 7: 13–22.
- Cohen H., Kaplan Z., Kotler M., Kouperman I., Moisa R., Grisaru N. Repetitive transcranial magnetic stimulation of the right dorsolateral prefrontal cortex in posttraumatic stress disorder: a double-blind, placebo-controlled study. Am. J. Psychiatry. 2004. 161 (3): 515–524.
- Dailey N.S., Smith R., Raikes A., Alkozei A., Killgore W.D.S. Reduced functional connectivity in the executive control network following mild traumatic brain injury: Implications for emotional regulation. Biol. Psychiatry. 2018. 83: 162.
- 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. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2005. 102: 9673–9678.
- Fuchs M., Wagner M., Kastner J. Boundary element method volume conductor models for EEG source reconstruction. Clin. Neurophysiol. 2001. 112: 1400–1407.
- Greenberg B.D., Ziemann U. Decreased neuronal inhibition in cerebral cortex in obsessive-compulsive disorder on transcranial magnetic stimulation. The Lancet. 1998. 352 (9131): 881–882.
- Gusnard D.A., Raichle M.E. Searching for a baseline: functional imaging and the resting human brain. Nat. Rev. Neurosci. 2001. 2 (10): 685–694.
- Hamilton J.P., Chen M.C., Gotlib I.H. Neural systems approaches to understanding major depressive disorder: an intrinsic functional organization perspective. Neurobiol. Dis. 2013. 52: 4–11.
- 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.
- Knyazev G.G. EEG delta oscillations as a correlate of basic homeostatic and motivational processes. Neurosci. Biobehav. Rev. 2012. 36 (1): 677–695.
- 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. *J. Affect. Disord.* 2018. 235: 211–219.
- Knyazev G.G., Savostyanov A.N., Bocharov A.V., Levin E.A., Rudych P.D.* Intrinsic connectivity networks in the self-and other-referential processing. *Front. Hum. Neurosci.* 2020. 14: 579703.
- Kober H., Kross E.F., Mischel W., Hart C.L., Ochsner K.N.* Regulation of craving by cognitive strategies in cigarette smokers. *Drug Alcohol. Depend.* 2010. 106 (1): 52–55.
- Koch S.B., van Zuiden M., Nawijn L., Frijling J.L., Veltman D.J., Olff M.* Aberrant resting-state brain activity in posttraumatic stress disorder: A meta-analysis and systematic review. *Depress. Anxiety.* 2016. 33 (7): 592–605.
- Lefaucheur J.P., Antal A., Ayache S.S., Benninger D.H., Brunelin J., Cogiamanian F., Cotelli M., De Ridder D., Ferrucci R., Langguth B., Marangolo P., Mylius V., Nitsche M.A., Padberg F., Palm U., Poulet E., Priori A., Rossi S., Sackellmann M., Vanneste S., Ziemann U., Garcia-Larrea L., Paulus W.* Evidence-based guidelines on the therapeutic use of transcranial direct current stimulation (tDCS). *Clin. Neurophysiol.* 2017. 128 (1): 56–92.
- Litvak V., Eusebio A., Jha A., Oostenveld R., Barnes G.R., Penny W.D., Zrinzo L., Hariz M.I., Limousin P., Friston K.J., Brown P.* Optimized beamforming for simultaneous MEG and intracranial local field potential recordings in deep brain stimulation patients. *NeuroImage.* 2010. 50:1578–1588.
- Marks I.M., Nesse R.M.* Fear and Fitness: An Evolutionary Analysis of Anxiety. *Ethol. Sociobiol.* 1994. 15: 247–261.
- Menon V.* Large-scale brain networks and psychopathology: a unifying triple network model. *Trends Cogn. Sci.* 2011. 15 (10): 483–506.
- Menon V.* The triple network model, insight, and large-scale brain organization in autism. *Biol. Psychiatry.* 2018. 84: 236–238.
- Menon V., D'Esposito M.* The role of PFC networks in cognitive control and executive function. *Neuropsychopharmacology.* 2022. 47 (1): 90–103.
- Menon V., Uddin L.Q.* Saliency, switching, attention and control: a network model of insula function. *Brain structure and function.* 2010. 214 (5): 655–667.
- Pan J., Zhan L., Hu C., Yang J., Wang C., Gu L., Zhong S., Huang Y., Wu Q., Xie X., Chen Q., Zhou H., Huang M., Wu X.* Emotion regulation and complex brain networks: association between expressive suppression and efficiency in the fronto-parietal network and default-mode network. *Front. Hum. Neurosci.* 2018. 12: 70.
- Pilhatsch M., Vetter N.C., Hubner T., Ripke S., Müller K.U., Marxen M., Rodehacke S., Mennigen E., Schmidt D., Kroemer N.B., Smolka M.N.* Amygdala-function perturbations in healthy mid-adolescents with familial liability for depression. *J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiatry.* 2014. 53: 559–68.
- Raichle M.E., MacLeod A.M., Snyder A.Z., Powers W.J., Gusnard D.A., Shulman G.L.* A default mode of brain function. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2001. 98 (2): 676–682.
- Raichle M.E.* The brain's default mode network. *Annu. Rev. Neurosci.* 2015. 38: 433–447.
- Saviola F., Pappaianni E., Monti A., Grecucci A., Jovicich J., De Pisapia N.* Trait and state anxiety are mapped differently in the human brain. *Sci. Rep.* 2020. 10 (1): 1–11.
- Seeley W.W., Menon V., Schatzberg A.F., Keller J., Glover G.H., Kenna H., Reiss A.L., Greicius M.D.* Dissociable intrinsic connectivity networks for salience processing and executive control. *J. Neurosci.* 2007. 27 (9): 2349–2356.
- Seeley W.W.* The salience network: a neural system for perceiving and responding to homeostatic demands. *J. Neurosci.* 2019. 39 (50): 9878–9882.
- Schacter D.L., Addis D.R., Buckner R.L.* Episodic simulation of future events: Concepts, data, and applications. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 2008. 1124 (1): 39–60.
- Smitha K.A., Akhil Raja K., Arun K.M., Rajesh P.G., Thomas B., Kapilamoorthy T.R., Kesavadas C.* Resting state fMRI: A review on methods in resting state connectivity analysis and resting state networks. *Neuroradiol. J.* 2017. 30 (4): 305–317.
- Spielberger C.D.* State-Trait Anxiety Inventory: A comprehensive bibliography. Palo Alto: Consulting Psychologists Press, 1984.
- Szeszko P.R., Yehuda R.* Magnetic resonance imaging predictors of psychotherapy treatment response in post-traumatic stress disorder: A role for the salience network. *Psychiatry Res.* 2019. 277: 52–57.
- Van Veen B.D., van Drongelen W., Yuchtman M., Suzuki A.* Localization of brain electrical activity via linearly constrained minimum variance spatial filtering. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 1997. 44: 867–80.
- Wu L.L., Potenza M.N., Zhou N., Kober H., Shi X.H., Yip S.W., Xu J., Zhu L., Wang R., Liu G., Zhang J.T.* A role for the right dorsolateral prefrontal cortex in enhancing regulation of both craving and negative emotions in internet gaming disorder: A randomized trial. *Eur. Neuropsychopharmacol.* 2020. 36: 29–37.

BALANCE OF RESTING STATE NETWORKS AFTER MIGRATION TO THE NORTH REGION

A. V. Bocharov^{a, c, #}, A. N. Savostyanov^{a, b, c}, S. S. Tamozhnikov^a, A. G. Karpova^d, A. E. Saprigyn^{a, b},
N. S. Milakhina^b, E. A. Zavarzin^a, P. D. Rudich^c, E. A. Merkulova^a, and G. G. Knyazev^a

^a*Scientific Research Institute of Neurosciences and Medicine, Novosibirsk, Russia*

^b*Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia*

^c*Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia*

^d*North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia*

[#]*e-mail: bocharovav@neuronm.ru*

The study involved 45 students (all men) of different nationalities (mostly Tajiks and Kyrgyzs) aged from 17 to 28 years who had moved to the conditions of the North (Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia)). The aim of the study was to investigate the balance of connectivity of resting state networks in the first condition, when the participants got into a new unfamiliar environment and in the second condition after one year of staying in these conditions. A 128-channel EEGs were recorded at rest. Connectivity measures were calculated between nodes of resting state networks and the rest of the brain. Connectivity contrasts Attention Networks vs Default Mode Network in the first and in the second conditions were performed. In the first condition, a predominance of Attention networks over Default mode network was revealed, which could be related to an increased attention to new stimuli and tasks in a new unfamiliar environment. In the second condition, after one year of staying in these environmental conditions, the balance of resting state networks shifted toward a predominance of the Default mode network over Attention networks.

Keywords: EEG, default mode network, attention networks, resting state networks, connectivity