

УДК 612.821

DOI: 10.46742/2072-8840-2023-73-1-5-14

НЕЙРОМАРКЕРЫ ДИНАМИКИ МЕЖПОЛУШАРНОЙ АСИММЕТРИИ В НОРМЕ
И ПРИ НАРУШЕНИЯХ ПСИХОРЕЧЕВОГО РАЗВИТИЯ

Кожушко Н.Ю., Евдокимов С.А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт мозга человека им. Н.П. Бехтеревой РАН

Санкт-Петербург

kozhusenko@ihb.spb.ru

evdokimov@ihb.spb.ru

Проведено исследование изменений межполушарной асимметрии спектральной мощности ЭЭГ в тета-диапазоне (4-7.5 Гц) у детей с нарушениями психоречевого развития под влиянием левополушарной гальванизации мозга. В лобных отделах коры больших полушарий выявлено уменьшение исходной асимметрии до значений возрастной нормы (значимая положительная корреляция с количеством курсов транскраниальных микрополяризаций).

Ключевые слова: ЭЭГ, перинатальная патология ЦНС, нарушения психического развития, транскраниальные микрополяризации — ТКМП.

Neuromarkers of the dynamics of interhemispheric asymmetry in the norm and in mental development disorders. In children with mental development disorders, a significant positive correlation was found. A linear dependence of the dynamics of interhemispheric asymmetry of spectral power in the EEG theta range (4-7.5 Hz) in the posterior frontal areas vs the numbers of tDCS courses was revealed. A decrease in asymmetry to the values of the age norm was revealed.

Keywords: EEG, tDCS, mental development disorders

Изучение механизмов межполушарной асимметрии является одним из ключевых пунктов оценки ролей правой и левой гемисферы в обеспечении высших психических функций и речи. При интерпретации полученных данных наиболее важным оказывается используемый при этом инструмент, экспериментальная модель [1, 3, 23, 24, 28, 29]. В частности, в случаях инсультов, опухолей, травм и др. органических процессов у детей и взрослых речь идет о повреждении/выпадении, утрате ранее сформированной нормативной функции [4, 7, 12, 13, 17, 18].

Однако, в наших исследованиях (у детей с отдаленными последствиями перинатального поражения ЦНС) мы имеем дело с исходно несформированными в процессе естественного онтогенеза психическими процессам, т.е. преимущественно со случаями незрелости, дисфункции. Поэтому мы чаще сталкиваемся с нарушениями всей онтогенетической цепочки «превращений», когда возрасту не соответствуют и навыки самообслуживания, мелкая и артикуляционная, а также общая моторика, перцептивные процессы, мыслительные функции, речь и др.

При таких нарушениях развития имеют преимущества более щадящие, физиологические методы исследования, близкие по ряду параметров к собственным электрическим процессам в мозгу человека — воздействия переменным, постоянным током или их сочетанием разной интенсивности и продолжительности (транскраниальные электростимуляции, микрополяризации — ТКМП) [6, 15, 19-21, 27, 32].

Цель настоящего исследования — анализ влияния ТКМП на динамику межполушарной асимметрии при аномальном онтогенезе высших психических функций (ВПФ) и речи — по данным ЭЭГ в диапазоне медленных частот (4-7.5 Гц).

Организация и методы исследования

Повторные ЭЭГ — исследования на курсах ТКМП у отстающих детей проведены в возрасте от 6 до 16 лет. Обследованы дети с различными формами и степенью тяжести психоречевых расстройств перинатального генеза (ЗПРР, общее недоразвитие речи, расстройства аутистического спектра, умственная отсталость). Средний возраст 10.4 лет, SD= 3.03 лет. Всего проанализировано 108 повторных записей (9 девочек и 43 мальчика).

Запись ЭЭГ производилась в состоянии спокойного бодрствования (глаза открыты) в течение 2-4 мин. Расположение хлорсеребряных электродов по международной схеме «10-20». Регистрация ЭЭГ производилась в 19 отведениях с помощью компьютерного энцефалографа ООО «Мицар». Сопротивление ЭЭГ-электродов не превышало 5 кОм. Запись осуществлялась монополярно по отношению к правому и левому ушному хлорсеребряным электродам. Частота дискретизации данных — 250 Гц. Фильтр нижних частот — 0.53 Гц, фильтр высоких частот 30 Гц, режекторный фильтр 45-55 Гц. Коррекция артефактов глазных движений осуществлялась методом фильтрации главных компонент. В работе был использован монополярный монтаж "общий усредненный референт" (Av).

На первом этапе проведен сравнительный анализ данных динамики асимметрии ЭЭГ только в тета-диапазоне (4-7.5 Гц) по 8 парам отведений (всего 16, кроме центральных): Fp1 и Fp2, F7 и F8, F3 и F4, T3 и T4, C3 и C4, T5 и T6, P3 и P4, O1 и O2.). Асимметрия рассчитывалась в относительных единицах по формуле: $X \text{ нечетное} - X \text{ четное} / X \text{ нечетное} + X \text{ четное}$, где X — отведение по схеме «10-20» (например, (F3-F4)/(F3+F4)). Расчет производился в программе WinEEG v.3.2 (автор — Попомарев В. А.). Использован корреляционный анализ Пирсона для расчета коэффициента корреляции между средними значениями асимметрии для повторных курсов ТКМП. Расчет производился в программе STATISTICA v.10.

Далее полученные результаты по асимметрии у детей с ЗППР на курсах ТКМП сопоставлялись с данными о возрастной динамике вышеуказанной асимметрии у детей в процессе типичного онтогенеза (нормативная база: 137 девочек и 126 мальчиков, HBI database — см www.hbimed.com).

Для коррекции отставания в развитии применялся метод гальванизации мозга (в научных публикациях используется термин «транскраниальная микрополяризация» — ТКМП [14, 17]). Лечение проводилось по 1-2 курса в год в течение нескольких лет по запатентованным схемам, курс от 3-5 до 10-15 сеансов в зависимости от возраста ребенка (по схеме «возраст±1»), продолжительность одного сеанса 20 мин, курс рассчитан на 2-4 недели. патенты РФ № 2180245, 2248227, 2402973]. Основные мишени ТКМП — преимущественно вблизи корковых проекций областей левого полушария (как правило, это зоны Вернике, Брока, а также области моторной коры и ассоциативные отделы); оценивалось курсовое влияние на межполушарную асимметрию.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ межполушарных различий ЭЭГ в этих отделах у детей с типичным развитием (нормативная база данных) показал, что корреляции динамики асимметрии с возрастом не обнаруживается (рис. 1, коэффициент корреляции $r=0.001$). Значения колеблются около нуля ($\pm 2\%$), и от возраста не зависят.

У детей с ЗППР при курсовом лечении ТКМП динамика межполушарной асимметрии спектральной мощности в тета-диапазоне была выявлена, начиная с 4 — го курса, и была достоверной только в задне-лобных отделах (F3 и F4), в остальных отведениях ЭЭГ не обнаружена. Выявлена значимая положительная корреляция (линейная зависимость) между значениями этой асимметрии и количеством курсов ТКМП ($r = 0.65$, $p < 0.03$). (рис 2). И далее асимметрия постепенно достигает нормативных (нулевых) значений в интервале от 8-го до 10-го курса поляризации. И потом при дальнейшем увеличении количества курсов ТКМП (12 и более) идет смена знака асимметрии (с левополушарной на правополушарную).

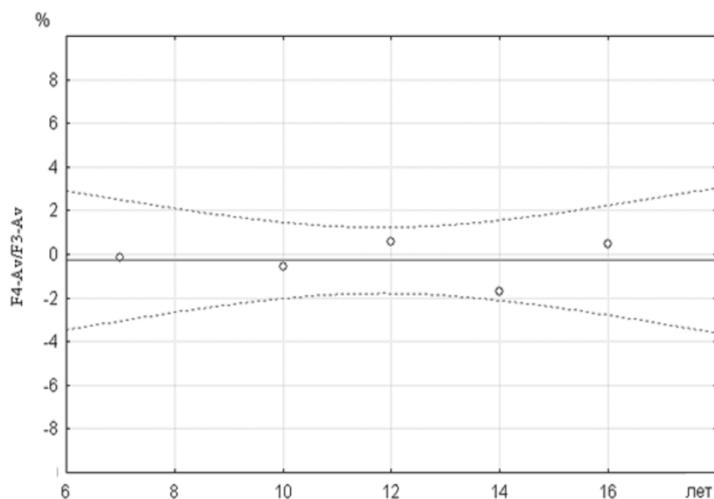


Рис. 1. Возрастная динамика межполушарной асимметрии спектральной мощности ЭЭГ в тета-диапазоне в задне-лобных отделах у детей с типичным развитием.

Условные обозначения: по оси ординат — асимметрия в относительных единицах (%), по оси абсцисс — возраст детей.

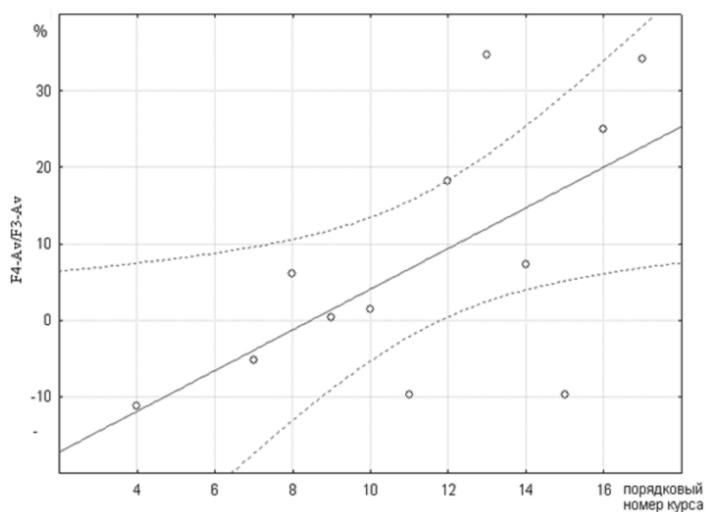


Рис. 2. Курсовая динамика межполушарной асимметрии спектральной мощности ЭЭГ в тета-диапазоне в задне-лобных отделах у детей с ЗППР при ТКМП. По оси ординат — асимметрия в относительных единицах (%), по оси абсцисс — порядковый номер курса ТКМП.

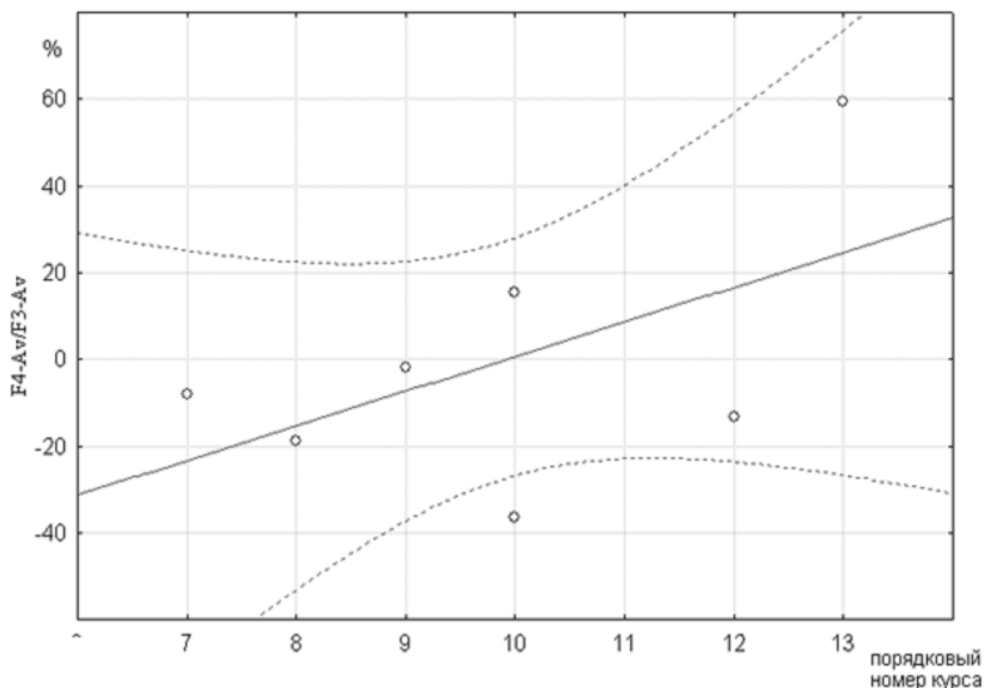


Рис. 3. Индивидуальная динамика межполушарной асимметрии спектральной мощности ЭЭГ в тета-диапазоне в задне — лобных отделах у пациента с ЗПРР на курсах ТКМП. Условные обозначения — см. рис. 2.

На рис. 4 представлены топограммы сравнительного анализа асимметрии ЭЭГ (качественный анализ локализации максимальных изменений): А — у детей с ЗПРР на курсах ТКМП и Б — асимметрии ЭЭГ нормативных данных. На рис. 4А можно видеть, что установленная нами значимая асимметрия в F3 и F4 при курсовом лечении ТКМП переходит с левосторонней в правостороннюю.

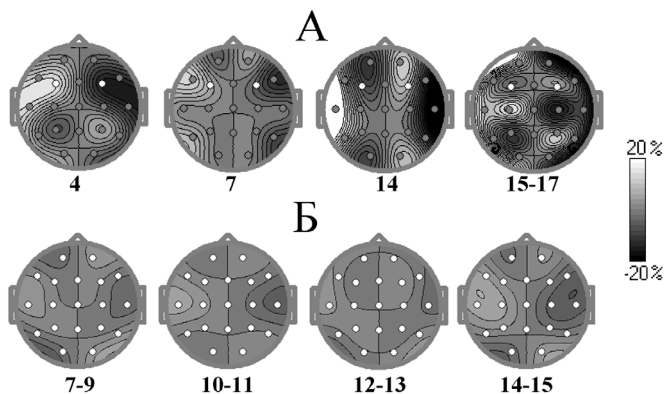


Рис. 4. Особенности межполушарной асимметрии спектральной мощности ЭЭГ в тета-диапазоне у детей с ЗПРР

А — курсовая динамика асимметрии при ТКМП.

Условные обозначения: под топограммами указаны порядковые номера курсов.

В-возрастная динамика для детей с типичным развитием (норма)

Условные обозначения: под топограммами указан возраст

Обсуждение

При обсуждении межполушарных отношений в механизмах формирования ВПФ и речи во многих литературных источниках сделан акцент на особую роль левой гемисферы в механизмах речи. В условиях аномального онтогенеза эти отношения нарушаются вследствие патологических изменений в детском мозге (повреждения, недоразвития и др. причин) [22, 31].

Использование направленного воздействия (локальных ТКМП), как было показано нами ранее, позволяет изменять целый ряд параметров биоэлектрической активности коры больших полушарий, т.е. влиять на те или иные мозговые механизмы обеспечения ВПФ и речи. В частности, выявлено достоверное снижение доли медленных форм активности в общем спектре ЭЭГ и повышение ведущих частот альфа-активности — по сравнению со спонтанной возрастной динамикой ЭЭГ отстающих детей (без ТКМП) [9, 10].

В настоящем исследовании нами обнаружены значимые изменения под влиянием левополушарной гальванизации еще одного параметра ЭЭГ — межполушарной асимметрии медленной (тета) активности. Асимметрия имеет вектор изменений от аномальных параметров (т.е. более выраженного замедления в отделах левой гемисферы) к значениям асимметрии нормативной группы и приобретает достоверность после 4-х курсов ТКМП. Эти данные получены и при использовании «поперечного среза» — у разных детей одного возраста/одного курса ТКМП, и подтверждены на лонгитюдном срезе — у одних и тех же детей на разных этапах лечебного процесса.

В то же время неправомерно ставить знак равенства: «нормализация» параметров асимметрии не означает автоматической «нормы» ВПФ и речи. На повышение способностей ребенка влияют и особенности развивающей среды, и степень нейропластичности его мозга на данном этапе развития, и многие другие факторы. Но мы можем полагать, что переход левосторонней асимметрии в нулевую (нормативную) область может вносить свой вклад в оптимизацию межполушарных связей в обеспечении сложных видов психической деятельности. Одним из возможных нейрофизиологических механизмов этого процесса у отстающих детей можно полагать ослабление генераторов «замедления» корковой ритмики, в частности, уменьшение их общего числа, включая редукцию широко распределенной по скальпу компоненты ICF3, а также оптимизацию параметров альфа-активности, в т.ч. в отделах правой нестимулированной гемисферы [11, 25].

Интерпретация последующего перехода асимметрии через ноль при дальнейшем увеличении количества курсов ТКМП со сменой ее знака (с левополушарной на правополушарную) в настоящий момент вызывает определенные трудности. Клинического материала по большому количеству курсов ТКМП недостаточно для однозначных выводов (база данных формируется несколько лет). Как правило, большая продолжительность курсового использования ТКМП в нашей работе имеет место в двух основных группах: при тяжелых формах умственной отсталости (в том числе при аутизме), и у детей с грубым отставанием в экспрессивной речи, но с менее выраженной задержкой невербального интеллекта (например, с моторной алалией). Если для первой группы характерно тотальное недоразвитие базовых психических процессов, существенное ограничение внутреннего ресурса к развитию в процессе естественного онтогенеза, то вторая группа на последних курсах имеет существенно более высокий уровень развития вербального и невербального интеллекта, включая нормализацию ряда показателей. При относительной полярности характеристик детей этих групп (с точки зрения «выхода» на другой уровень развития) их объединяет левополушарный акцент асимметрии, так или иначе связанный с нарушением функционирования доминирующего по речи полушария и вытекающего из этого нарушения межполушарного баланса. Можно предположить, что инверсия знака асимметрии при большой продолжительности коррекции с использованием ТКМП отражает процессы компенсации/гиперкомпенсации, аналогичные процессам так называемого «замещающего» онтогенеза [16]. При нем опора для развития отстающих функций идет на более сильные (сохраненные) функциональные единицы правой (в нашем случае) гемисферы, которая начинает выполнять роли, в норме ей несвойственные, и потому не являющиеся идентичными по эффективности ролям левой гемисферы.

Так, например, по данным исследований в группе детей начальной массовой школы с трудностями обучения отмечено превалирование невербального компонента интеллекта (по тесту Векслера) и практически отсутствие взаимосвязей между компонентами вербальной и невербальной структуры интеллекта, и между субтестами внутри каждой структуры [2]. Авторы считают, что это не позволяет скомпенсировать в процессе учебной деятельности познавательные функции, которые исходно были недостаточно сформированы. Более того, высказывалось предположение, что для таких детей существующая высоко вербализованная система обучения является неадекватной и даже тормозящей развитие (Дубровинская и др., 2000).

В то же время в норме эти связи по тесту Векслера весьма высоки. У таких детей к 9-10 годам идет оптимизация познавательной деятельности и успешное обучение с формированием речевой регуляции процесса. Невербальные параметры у них остаются высокими, но утрачивают к 9-10 годам свою значимость по сравнению с дошкольным возрастом.

В группе детей при наличии школьных трудностей значимость невербального компонента к 9-10 годам тоже снижается, но у них нет улучшения вербального компонента деятельности (он либо не меняется, либо даже становится ниже нормы). Что в совокупности снижает далее успешность обучения.

Учитывая хоть и малую, но положительную динамику в развитии, обучении, социализации при тяжелых формах нарушений, возможно, мы имеем место с формированием некоего особого баланса межполушарных отношений, характерного для данного контингента детей. Данные психолого — логопедического тестирования при умственной отсталости указывают, что такие дети, как правило, двигаются вперед в развитии от некоего «внешнего» источника: коррекционно-развивающих занятий, медикаментозной терапии, остеопатии, ТКМП или БАК (биоакустической коррекции). Утвердиться в тех или иных предположениях об инверсии асимметрии позволит только накопление соответствующей базы данных, особенно если принимать во внимание и высокую индивидуальную вариабельность психологических и физиологических параметров.

Оценивая курсовое влияние ТКМП на асимметрию в лобных отделах коры, надо заметить, что хотя они логично входят в программу курса для речевых нарушений, воздействие вблизи данной зоны имеет не самую высокую эффективность в отношении психоречевых функций отстающих детей по сравнению с эффектами воздействий в проекциях зоны Вернике, области ТРО и других зон левой гемисферы [26]. Возможно, это более слабое (менее сохранное) звено в системе мозгового обеспечения ВПФ и речи. Фронтоталамические медленные волны и ранее рассматривались в литературе как признаки неоптимального состояния системы обеспечения психической деятельности при наличии школьных трудностей [14].

Один из онтогенетических подходов к объяснению межполушарной асимметрии предполагает, что новые функции сначала появляются в левом полушарии, а затем через мозолистое тело передаются в правое [5]. И, как считает автор теории, специализация полушарий идет не по разным функциям, а по разным фазам их эволюции: левое полушарие предназначено для новых, молодых функций, правое полушарие — для старых. Частично это перекликается с другими теориями, согласно которым межполушарные отношения могут осуществляться по принципу «часть–целое» [12]. И тогда при оценке эффектов ТКМП можно предположить, что правое полушарие регулирует часть психических процессов, а левое — всю их целостность, связанную с речевыми функциями, и в том числе деятельность правого полушария в отношении речи. Это может объяснить отсроченность эффектов правополушарных ТКМП [15, 19]. Полученные в настоящем исследовании данные пополняют список нейромаркеров динамики биоритмов у отстающих детей под влиянием левополушарных ТКМП. Многолетние исследования с использованием модели мозга, формирующегося в условиях аномального онтогенеза, позволяют нам говорить о системных сдвигах нейродинамики в условиях ТКМП — по частотным параметрам (сдвиги в сторону «ускорения» ведущих частот), пространственному распределению генераторов ритмов (уменьшение источников замедления ритмов), нормализации межполушарных отношений и других характеристик.

Выводы

1. Преобладание медленной активности тета-диапазона в отделах левой гемисферы (левополушарная асимметрия) может рассматриваться как один из нейрофизиологических механизмов отставания

в психоречевом развитии перинатального генеза.

2. Курсовое направленное воздействие (ТКМП) способствует постепенному ослаблению генераторов «замедления», уменьшению дисбаланса межполушарных отношений и формированию эффективных мозговых систем для развития отстающих функций у детей.

Информация о финансовой поддержке: работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки РФ по теме № АААА-А19-119101890066-2, № FMMW-2022-0002.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом — ИМЧ РАН (Санкт-Петербург).

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Благодарности: Матвееву Ю. К. (научный сотрудник ИМЧ РАН) за помощь в проведении ТКМП.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балонов Л.Я., Деглин В. Л. Слух и речь доминантного и недоминантного полушарий. — Л.: Наука, 1976. — 314 с.
2. Безруких М.М. Логинова Е. С. Возрастная динамика и особенности формирования психофизиологической структуры интеллекта у учащихся начальной школы с разной успешностью обучения // Физиол. человека. 2006. Т. 32. № 1. С. 15-25.
3. Бехтерева Н.П. Магия мозга и лабиринты жизни. — М.: АСТ. СПб: «Сова». 2007. — 349 с.
4. Буклина С.Б., Баталов А. И., Восстановление речи при афазии: правое полушарие враг или друг? // Физиология человека 2018. — Т. 44. — № 2. С. 52.
5. Геодакян В.А. Теория асинхронной асимметрии мозга // Актуальные вопросы функциональной межполушарной асимметрии. М.: 2001. С. 59-60.
6. Гусева Н.Л., Святогор И.А., Софронов Г.А., Сирбиладзе К. Т. Динамика фоновых и реактивных паттернов ЭЭГ у детей с минимальными дисфункциями мозга до и после сеансов транскраниальной микрополяризации // Медицинский академический журнал. — 2015. — Т. 15. № 1. — С. 47-53.
7. Доброхотова Т.А. Нейропсихиатрия. — М.: БИНОМ. 2013, изд. 2-304 с.
8. Кожушко Н.Ю., Кропотов Ю. Д., Матвеев Ю. К. и др. Структурно-функциональные особенности мозга детей с нарушениями психического развития и возможности направленного физиологического воздействия // Физиология человека. — 2014. — Т. 40. № 4.- С. 36-43. DOI: 10.7868/S0131164614040092
9. Кожушко Н.Ю., Евдокимов С. А., Матвеев Ю. К. Нейрофизиологические маркеры возрастной динамики нарушенного психического развития у детей // Физиология человека. — 2018. — Т. 44. № 2. — С. 96-102. DOI 10.7868/S0131164618020133
10. Кожушко Н.Ю., Евдокимов С. А. Особенности возрастной динамики ЭЭГ под влиянием транскраниальных микрополяризаций // Физиология человека. — 2019. — Т. 45. № 4. — С. 23-29. DOI: 10.1134/S0131164619040052
11. Кожушко Н.Ю., Евдокимов С. А. Поиск ранних предикторов нарушений формирования высших психических функций и речи: нейрофизиологические аспекты // Физиология человека. — 2020. — Т. 46. № 3. — С. 64-70. DOI: 10/31857/S0131164620030108
12. Леутин В.П., Николаева Е. И. Функциональная асимметрия мозга: мифы и действительность. — СПб: Речь, 2005. — 368 с.
13. Лурия А.Р. Высшие корковые функции человека. — СПб: Питер, 2008.- 624 с.
14. Мачинская Р.И., Курганский А. В. Фронтальные билатерально-синхронные тета-волны и когерентность фоновой ЭЭГ у детей 7-8 и 9-10 лет с трудностями обучения // Физиология человека. — 2013. — Т. 39. № 1. — С. 71.
15. Пинчук Д.Ю. Транскраниальные микрополяризации головного мозга: клиника, физиология. — СПб: «Человек», 2007. — 496 с.
16. Семенович А.В. Нейропсихологическая коррекция в детском возрасте. Метод замещающего

онтогенеза. — М.: «Генезис». 2017. — 474 с.

17. Симерницкая Э. Г. Мозг человека и психические процессы в онтогенезе. — М.: Изд-во МГУ, 1985. — 351 с.

18. Цветкова Л.С., Цветков А. В. Речь и правое полушарие головного мозга: афазия vs аномия // Теория и практика общественного развития. 2014. № 13. С. 70.

19. Шелякин А.М., Преображенская И. Г. Микрополяризация мозга. Вчера. Сегодня. Завтра. — СПб: Страта, 2021. — 378 с.

20. Amatachaya, A., Jensen, M.P., Patjanasontorn, N. et al. The short-term effects of transcranial direct current stimulation on electroencephalography in children with autism: a randomized crossover controlled trial // *Behav Neurol.* — 2015. -Vol. 9. № 28. — PP. 631-641.

21. Caldas Osorio A. A., Russowsky Brunoni A. Transcranial direct current stimulation in children with autism spectrum disorder: a systematic scoping review// *Develop. Medicine & Child Neurol.* — 2019. — № 61. — P. 298-304. DOI: 10.1111/dmcn.14104

22. Floris D.L., Chura L. R., Holt R. J. et al. Psychological correlates of handedness and corpus callosum asymmetry in autism: the left hemisphere dysfunction theory revisited // *J. of Autism and Developmental Disorders.* 2013. Vol. 43. № 8. P. 1758.

23. Gainotti G. Lower — and higher — level models of right hemisphere language. A selective survey // *Funct. Neurol.* — 2016. — V.31. № 2. — P. 67. PMID27358218PMCIDPMC4936799.

24. Gazzaniga M.S., Sperry R.W Language after section of the cerebral commissures // *Brain.* — 1967. — Vol. 90. № 1. — PP. 21-34.

25. Kozhushko N. Ju., Nagornova Zh.V., Evdokimov S. A. et al. Specificity of spontaneous EEG associated with different levels of cognitive and communicative dysfunctions in children // *Int. J. Psychophysiology.* 2018. V. 128. P. 22-30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psycho.2018.03.013>

26. Kozhushko N., Evdokimov S., Kropotov Yu. Neuromarkers of the effects of the transcranial direct current stimulations in children with mental development disorders // *J. Evolutionary Biochemistry and Physiology.* 2021. Vol. 57. № 6. P. 1300-1309. DOI: 10.1134/S0022093021060107

27. Lefaucheur J-P. A comprehensive databased of published tDCS clinical trials (2005-2016) // *Clin. Neurophysiol.* 2016 (80 pp). <http://dx.doi.org/10.1016/j.neucli.2016/10/002>

28. Penfield W. *Mystery of the Mind.* — 2015: Published by Princeton University Press. — 158 P.

29. Springer S., Deutsch G. / Спрингер С., Дейч Г. Левый мозг, правый мозг: асимметрия мозга. — М.: Мир, 1983. — 314 с.

30. York, G. K., & Steinberg, D. A. (2011). Hughlings Jackson's neurological ideas // *Brain.*- 134(10). — PP. 3106-3113.

31. Vergallito A., Giustolisi B., Cecchetto C. et al. Mind the stimulation site: Enhancing and diminishing sentence comprehension with anodal tDCS// *Brain and Language.* — 2020. — № 204. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2020.104757>

32. Zewdie E., Ciechanski P., Kuo H. C. et al. Safety and tolerability of transcranial magnetic and direct current stimulation in children: Prospective single center evidence from 3.5 million stimulations // *Brain Stimulation.* — 2020. — № 13. P. 565-575.

REFERENCES

1. Balonov L.YA., Deglin V. L. Sluh i rech' dominantnogo i nedominantnogo polusharij. — L.: Nauka, 1976. S.314

2. Bezrukih M.M. Loginova E. S. Vozrastnaya dinamika i osobennosti formirovaniya psihofiziologicheskoy struktury intellekta u uchashchihsya nachal'noj shkoly s raznoj uspešnost'yu obucheniya // *Fiziol. cheloveka.* 2006. T. 32. № 1. S. 15-25.

3. Bekhtereva N.P. Magiya mozga i labirinty zhizni. — М.: AST. SPb: «Sova». 2007. S. 349.

4. Buklina S.B., Batalov A. I., Vosstanovlenie rechi pri afazii: pravoe polusharie vrag ili drug? // *Fiziologiya cheloveka* 2018. — T. 44. — № 2. S. 52.

5. Geodakyan V.A. Teoriya asinhronnoj asimmetrii mozga // *Aktual'nye voprosy funkcional'noj mezhpolutsharnoj asimmetrii.* М.: 2001. S. 59-60.

6. Guseva N.L., Svyatogor I.A., Sofronov G.A., Sirbiladze K. T. Dinamika fonovyh i reaktivnyh patternov EEG u detej s minimal'nymi disfunkcijami mozga do i posle seansov transkranial'noj mikropolyarizacii

// Medicinskij akademicheskij zhurnal. — 2015. — Т. 15. № 1. — С. 47-53.

7. Dobrohotova T.A. Nejrropsihiatriya. — М.: BINOM. 2013, izd. 2 — С. 304

8. Kozhushko N.YU., Kropotov YU.D., Matveev YU.K. i dr. Strukturno-funkcional'nye osobennosti mozga detej s narusheniyami psihicheskogo razvitiya i vozmozhnosti napravlenogo fiziologicheskogo vozdejstviya // Fiziologiya cheloveka. — 2014. — Т.40. № 4.- С. 36-43. DOI: 10.7868/S0131164614040092

9. Kozhushko N. Yu., Evdokimov S. A., Matveev YU.K. Nejrrofiziologicheskie markery vozrastnoj dinamiki narushennogo psihicheskogo razvitiya u detej // Fiziologiya cheloveka. — 2018. — Т. 44. № 2. — С. 96-102. DOI 10.7868/S0131164618020133

10. Kozhushko N.YU., Evdokimov S. A. Osobennosti vozrastnoj dinamiki EEG pod vliyaniem transkranal'nyh mikropolyarizacij // Fiziologiya cheloveka. — 2019. — Т.45. № 4. — С. 23-29. DOI: 10.1134/S0131164619040052

11. Kozhushko N.YU., Evdokimov S. A. Poisk rannih prediktorov narushenij formirovaniya vysshih psihicheskikh funkcij i rechi: nejrrofiziologicheskie aspekty // Fiziologiya cheloveka. — 2020. — Т.46. № 3. — С. 64-70. DOI: 10/31857/S0131164620030108

12. Leutin V.P., Nikolaeva E. I. Funkcional'naya asimmetriya mozga: mify i dejstvitel'nost'. — SPb: Rech', 2005. — 368 s.

13. Luriya A.R. Vysshie korkovyje funkcii cheloveka. — SPb: Piter, 2008.- 624 s.

14. Machinskaya R.I., Kurganskij A. V. Frontal'nye bilateral'no-sinhronnye teta-volny i kogerentnost' fonovoj EEG u detej 7-8 i 9-10 let s trudnostyami obucheniya // Fiziologiya cheloveka. — 2013. — Т.39. № 1. — С. 71.

15. Pinchuk D.YU. Transkranal'nye mikropolyarizacii golovnogo mozga: klinika, fiziologiya. — SPb: «CHElovek», 2007. — 496 s.

16. Semenovich A.V. Nejrropsihologicheskaya korrekciya v detskom vozraste. Metod zameshchayushchego ontogeneza. — М.: «Genezis». 2017. — 474 s.

17. Simernickaya E. G. Mozg cheloveka i psihicheskie processy v ontogeneze. — М.: Izd-vo MGU, 1985. — 351 s.

18. Cvetkova L.S., Cvetkov A. V. Rech' i pravoe polusharie golovnogo mozga: afaziya vs anomiya // Teoriya i praktika obschestvennogo razvitiya. 2014. № 13. С. 70.

19. SHelyakin A.M., Preobrazhenskaya I. G. Mikropolyarizaciya mozga. Vchera. Segodnya. Zavtra. — SPb: Strata, 2021. — 378 s.

20. Amatachaya, A., Jensen, M.P., Patjanasontorn, N. et al. The short-term effects of transcranial direct current stimulation on electroencephalography in children with autism: a randomized crossover controlled trial // Behav Neurol. — 2015. -Vol. 9. № 28. — PP. 631-641.

21. Caldas Osorio A. A., Russowsky Brunoni A. Transcranial direct current stimulation in children with autism spectrum disorder: a systematic scoping review // Develop. Medicine & Child Neurol. — 2019. — № 61. — P. 298-304. DOI: 10.1111/dmcn.14104

22. Floris D.L., Chura L. R., Holt R. J. et al. Psychological correlates of handedness and corpus callosum asymmetry in autism: the left hemisphere dysfunction theory revisited // J. of Autism and Developmental Disorders. 2013. Vol. 43. № 8. P. 1758.

23. Gainotti G. Lower — and higher — level models of right hemisphere language. A selective survey // Funct. Neurol. — 2016. — V.31. № 2. — P. 67. PMID27358218PMCIDPMC4936799.

24. Gazzaniga M.S., Sperry R.W. Language after section of the cerebral commissures // Brain. — 1967. — Vol. 90. № 1. — PP. 21-34.

25. Kozhushko N. Ju., Nagornova Zh.V., Evdokimov S.A. et al. Specificity of spontaneous EEG associated with different levels of cognitive and communicative dysfunctions in children // Int. J. Psychophysiology. 2018. V. 128. P. 22-30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psycho.2018.03.013>

26. Kozhushko N., Evdokimov S., Kropotov Yu. Neuromarkers of the effects of the transcranial direct current stimulations in children with mental development disorders // J. Evolutionary Biochemistry and Physiology. 2021. Vol. 57. № 6. P. 1300-1309. DOI: 10.1134/S0022093021060107

27. Lefaucheur J-P. A comprehensive databased of published tDCS clinical trials (2005-2016) // Clin. Neurophysiol. 2016 (80 pp). <http://dx.doi.org/10.1016/j.neucli.2016/10/002>

28. Penfield W. Mystery of the Mind. — 2015: Published by Princeton University Press. — 158 P.

29. Springer S., Deutsch G. / Спрингер С., Дейч Г. Левый мозг, правый мозг: асимметрия мозга. — М.:

Мир, 1983. — 314 с.

30. York, G. K., & Steinberg, D. A. (2011). Hughlings Jackson's neurological ideas // *Brain*. - 134(10). — PP. 3106-3113.

31. Vergallito A., Giustolisi B., Cecchetto C. et al. Mind the stimulation site: Enhancing and diminishing sentence comprehension with anodal tDCS // *Brain and Language*. — 2020. — № 204. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2020.104757>

32. Zewdie E., Ciechanski P., Kuo H. C. et al. Safety and tolerability of transcranial magnetic and direct current stimulation in children: Prospective single center evidence from 3.5 million stimulations // *Brain Stimulation*. — 2020. — № 13. P. 565-575.