

**УДК 612.821**

**DOI 10.29039/2413-1725-2023-9-2-134-148**

**ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРИПОЛУШАРНЫХ КОГЕРЕНТНЫХ СВЯЗЕЙ  
РИТМОВ ЭЭГ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПОМОГАЮЩЕГО ПОВЕДЕНИЯ У ДЕТЕЙ  
ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА**

*Куличенко А. М., Кайда А. И., Португальская А. А., Михайлова А. А.,  
Архангельская Е. В., Павленко В. Б.*

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

Целью настоящего исследования являлось установление закономерностей в динамике внутриполушарной когерентности (ВПК) в  $\theta$ -,  $\alpha$ - и  $\beta$ -частотных диапазонах электроэнцефалограммы (ЭЭГ) корковых зон у детей дошкольного возраста во время реализации инструментального, эмоционального и альтруистического помогающего поведения (ПП). Установлено, что при реализации ПП у участников исследования проявляются специфические для каждого из изученных частотных диапазонов изменения ЭЭГ, которые зависят от направленности предлагаемого ребенку задания. Полученные данные обсуждаются с учетом представлений о роли продольных внутриполушарных связей в организации просоциального поведения. Выявленные особенности динамики внутриполушарной когерентности в  $\theta$ -,  $\alpha$ - и  $\beta$ -диапазонах ЭЭГ важны для понимания центральных механизмов становления ПП у детей.

**Ключевые слова:** дети дошкольного возраста, просоциальное поведение, помогающее поведение, когерентность ЭЭГ.

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время внимание многих авторов нацелено на изучение нравственности, которая является качеством личности, лежащим в основе саморегуляции и выбора поведения [1]. Исключительно важными являются исследования факторов становления нравственности у детей раннего возраста [2]. Использование игровых методик, в которых испытуемые проявляют индивидуальные особенности развития просоциального поведения позволило выявить возрастные, межкультурные, гендерные особенности морального развития детей [3, 4].

Впервые мозговые механизмы формирования морального и просоциального поведения у детей раннего возраста стали изучаться в 2013 году Паулюсом и соавторами (2013) [5]. Авторами была выявлена связь выполнения детьми действий, имеющих просоциальный характер с активностью разных областей неокортекса [5]. С целью дальнейшей разработки этого направления исследований в нашей лаборатории была модифицирована [6] методика определения выраженности моральных оценок про- и антисоциальных действий кукольных персонажей,

разработанная В. Kenward и М. Dahl [7]. С ее использованием показано, что мощность сенсомоторных ритмов ЭЭГ детей раннего возраста в период наблюдения за про- и антисоциальным действием кукольных персонажей и в период принятия решения об их вознаграждении зависит от уровня сформированности моральных оценок и возможности отождествления себя с персонажем, совершающим социально значимые действия [6, 8]. Участники исследования с разной способностью к вынесению моральной оценки проявляли разнонаправленные изменения мощности сенсомоторных  $\mu$ - и  $\beta$ -ритмов. Выдвинуто предположение, что реактивность сенсомоторных ритмов ЭЭГ у ребенка в значительной степени связана с уровнем сформированности моральных оценок и возможностью отождествления себя с персонажем, совершающим социально значимые действия.

Вместе с тем, центральные механизмы становления моральных суждений у детей дошкольного возраста могут быть основаны на процессах взаимодействия и интеграции разных областей мозга в распределенную систему, которая обеспечивает выполнение задач, требующих активации произвольного внимания и памяти [9]. Для успешного выполнения когнитивных и моторных функций жизненно важны связь и интеграция отдельных областей мозга [10]. Одним из важнейших механизмов, лежащих в основе такой координации, является система дистантной синхронизации нейронной активности [11], которая, проявляется в когерентности ритмов ЭЭГ [12].

В связи с этим нами изучена динамика когерентности  $\theta$ -,  $\alpha$ - и  $\beta$ -частотных диапазонов ЭЭГ в парах внутриполушарных отведений в ситуациях наблюдения за про- и антисоциальным поведением и осуществления морального выбора у детей раннего возраста (от 17 до 43 мес.) с разными значениями показателей моральной оценки действий игровых персонажей. В результате показано, что изменения когерентности ЭЭГ зависят от степени сформированности моральных оценок. В свою очередь ее высокий уровень отражается в росте когерентности ЭЭГ в частотном диапазоне  $\alpha$ -ритма в правом полушарии, а низкий – в модуляции когерентности ЭЭГ в частотном диапазоне  $\beta$ -ритма [13].

В дальнейшем нами предпринята попытка изучить нейрофизиологические механизмы помогающего поведения (ПП) детей дошкольного возраста (средний возраст –  $70,8 \pm 14,0$  мес.) во время реализации его основных видов: инструментального, эмоционального, альтруистического и совокупности альтруистического и эмоционального поведения [14]. Исследование интегративных процессов между гомологичными участками коры проводилось на основе анализа изменений межполушарной когерентности. В результате показано, что реализация ПП сопровождается увеличением межполушарной когерентности в диапазонах  $\theta$ -,  $\alpha$ - и  $\beta$ -ритмов ЭЭГ, исключая случай снижения межполушарной когерентности в  $\alpha$ -диапазоне в паре  $Fp_1$ - $Fp_2$ ; сдвиги межполушарных взаимодействий зависели от типа ситуации, в которой ребенок реализовывал ПП. На основании этого было выдвинуто предположение о том, что наблюдаемое усиление межполушарных взаимодействий, сопровождающее решение когнитивных задач, отражает оптимизацию функциональных систем интеграции мозговой активности и способствует реализации ПП. При этом анализ внутриполушарной когерентности (ВПК) между передними, центральными и задними областями неокортекса на

основе анализа когерентности ЭЭГ в  $\theta$ -,  $\alpha$ - и  $\beta$ -диапазонах во время реализации ПП может позволить судить о развитии лобно-теменно-затылочной сетей, критически важных для адекватного становления целенаправленного, в том числе, просоциального поведения детей [4, 9, 11]. Гипотеза исследования: процесс ПП отражается в особенностях ВПК ЭЭГ.

Поэтому целью настоящей работы явилось установление динамики ВПК в  $\theta$ -,  $\alpha$ - и  $\beta$ -диапазонах ЭЭГ корковых зон у детей дошкольного возраста во время реализации инструментального ПП.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В исследовании приняли участие 24 ребенка (16 мальчиков и 8 девочек) в возрасте 4–7 лет. Средний возраст исследуемых детей составил  $70,8 \pm 14,0$  мес. Критерии включения детей в исследование: масса тела при рождении не менее 2,5 кг; отсутствие записей в медицинской карточке о генетических заболеваниях и заболеваниях ЦНС. Перед проведением исследования проводили оценку интеллектуального развития детей по тесту Векслера [15, 16]. Результаты оценки представлены в предыдущей статье [14].

Методика изучения просоциального поведения. Для изучения психофизиологических коррелятов ПП использовались четыре экспериментальные ситуации:

1. Задание на реализацию инструментального помогающего поведения (ИПП) по методике, предложенной F. Warneken, M. Tomasello [17] с изменениями [18].

2. Задание на реализацию эмоционального помогающего поведения (ЭПП) по методике, предложенной K. Dunfield с соавторами, с изменениями [19].

3. Задание на реализацию альтруистического помогающего поведения (АПП) по методике, предложенной K. Dunfield с соавторами – «неравное угощение» [19].

4. Задание на реализацию комплекса альтруистического и эмоционального помогающего поведения (АЭПП) по методике, предложенной D. Bischof-Köhler [20] и J. Kärtner с соавторами [21].

Подробности методики представлены в предыдущей статье [14].

Регистрация ЭЭГ осуществлялась с помощью электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр-5» (Иваново, «Нейрософт», год выпуска 2016). ЭЭГ регистрировали монополярно от 19 отведений по стандартной схеме 10–20 % (референт – объединенные ушные электроды) в полосе пропускания сигнала 0,5–30,0 Гц при частоте дискретизации 250 Гц.

Запись фоновой ЭЭГ проводили при открытых глазах в условиях устойчивого зрительного внимания (УЗВ) при просмотре видеозаписи вращающегося мяча. Длительность фоновой записи составляла 50 с. Для анализа динамики ЭЭГ при реализации ПП были использованы четыре описанные выше экспериментальные ситуации. Видеозапись во время предъявления всех тестов была синхронизирована с записью ЭЭГ в программе Нейрон-Спектр.NET. Длительность записей ЭЭГ в экспериментальных ситуациях зависела от времени, через которое ребенок оказывал помощь.

Обработку данных ЭЭГ проводили с помощью программы WinEEG («Мицар», Россия). Артефакты удаляли с помощью встроенного в программу метода независимых компонент с дополнительным зрительным контролем качества записи. Записи ЭЭГ трех детей содержали большое количество артефактов из-за чрезмерной двигательной активности ребенка и были исключены из дальнейшей статистической обработки. Полученные безартефактные отрезки ЭЭГ разбивали на эпохи по 2 с. Фрагменты ЭЭГ подвергались быстрому преобразованию Фурье с взаимным перекрытием эпох 50 %.

Показатели когерентности ЭЭГ рассчитывали в индивидуальных, для каждого испытуемого, частотных диапазонах. На основе анализа различий спектров мощности ЭЭГ в отведении  $C_3$  в состоянии двигательного покоя ребенка и при выполнении им движений (феномены синхронизации и десинхронизации ЭЭГ) находили границы индивидуального частотного диапазона варианта  $\alpha$ -ритма –  $\mu$ -ритма [22].

В исследуемой группе детей среднее значение нижней границы частотного диапазона  $\mu$ -ритма составило  $7,1 \pm 0,7$  Гц, а верхней границы –  $10,5 \pm 0,9$  Гц. Диапазон бета-ритма был выбран 15–25 Гц. В соответствии с литературными данными при выполнении действий в этом диапазоне частот в сенсомоторных областях наблюдается подавление амплитуды  $\beta$ -колебаний [23].

Внутриполушарную когерентность биопотенциалов рассчитывали между парами отведений префронтальных, фронтальных, центральных, теменных и затылочных областей левого ( $Fp_1-F_3$ ,  $Fp_1-C_3$ ,  $Fp_1-P_3$ ,  $F_3-C_3$ ,  $F_3-P_3$ ,  $F_3-O_1$ ,  $C_3-P_3$ ,  $C_3-O_1$ ,  $P_3-O_1$ ) и правого ( $Fp_2-F_4$ ,  $Fp_2-C_4$ ,  $Fp_2-P_4$ ,  $F_4-C_4$ ,  $F_4-P_4$ ,  $F_4-O_2$ ,  $C_4-P_4$ ,  $C_4-O_2$ ,  $P_4-O_2$ ) полушарий.

Поскольку ряд отведений находятся в корковых областях, где отсутствуют генераторы сенсомоторного  $\mu$ -ритма (расположенные, главным образом, в центральном регионе неокортекса), в дальнейшем, описывая когерентность ЭЭГ-осцилляций в соответствующем частотном диапазоне, мы будем употреблять термин «когерентность  $\alpha$ -ритма».

Значения коэффициентов когерентности для каждой из описанных выше четырех ситуаций и частотных диапазонов  $\theta$ -,  $\alpha$ -, и  $\beta$ -ритмов ЭЭГ преобразовали с применением функции натурального логарифма. Значения показателей когерентности, выходящие за пределы 3  $\sigma$ , отбрасывали. В результате показатели когерентности имели распределения, близкие к нормальным, что позволило анализировать их средствами параметрической статистики.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы STATISTICA v.10. Значения когерентности ЭЭГ подвергали дисперсионному анализу ANOVA с повторными измерениями (repeated measures) с внутрисубъектными факторами СИТУАЦИЯ (ситуации ФОН и ИПП, ФОН и ЭПП, ФОН и АПП, ФОН и АЭПП). Для оценки изменений когерентности ЭЭГ в каждой из 6 пар использовали метод линейных контрастов. Статистически значимыми считали различия и корреляции при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

*Различия когерентности в  $\theta$ -диапазоне ЭЭГ при сравнении установочных ситуаций с исходным состоянием.* Для когерентности ЭЭГ  $\theta$ -диапазона выявлено статистически значимое влияние фактора СИТУАЦИЯ. Для оценки эффектов

изменения когерентности в  $\theta$ -диапазоне в каждой исследуемой паре отведений проведен post-hoc анализ методом контрастов.

В ситуации ИПП по сравнению с ситуацией УЗВ выявлено значимое увеличение когерентности для двух пар отведений левого ( $F_3-P_3$ ;  $p = 0,001$ ;  $C_3-P_3$ ;  $p = 0,045$ ) и двух – правого полушария ( $F_4-P_4$ ;  $p = 0,002$ ;  $F_4-O_2$ ;  $p = 0,009$ ) (рис. 1, А).

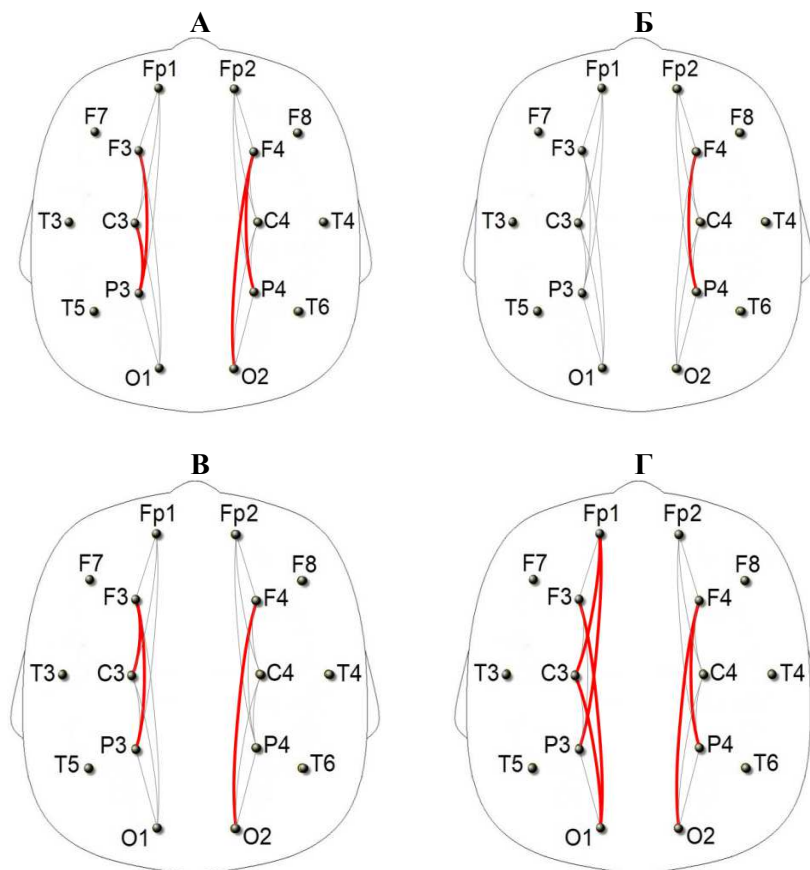


Рис. 1. Карты различий когерентности в  $\theta$ -диапазоне ЭЭГ при сравнении установочных ситуаций: инструментального – А, эмоционального – Б, альтруистического – В и совокупности альтруистического и эмоционального поведения – Г с исходным состоянием.

Здесь и далее – тонкими линиями отмечены пары отведений, которые включены в анализ. Жирными сплошными линиями соединены пары отведений, для которых увеличение когерентности в установочных ситуациях по сравнению с исходным состоянием являлось значимым ( $p < 0,05$ ).

В ситуации ЭПП по сравнению с ситуацией УЗВ выявлено значимое увеличение когерентности лишь для одной пары отведений правого полушария ( $F_4-P_4$ ;  $p = 0,023$ ) (рис. 1, Б).

В ситуации АПП по сравнению с ситуацией УЗВ выявлено значимое увеличение когерентности для двух пар отведений левого ( $F_3-C_3$ :  $p = 0,020$ ;  $F_3-P_3$ :  $p = 0,002$ ) и одной пары отведений правого полушария ( $F_4-O_2$ :  $p = 0,036$ ) (рис. 1, В).

Наиболее выраженные изменения когерентности зафиксированы в ситуации АЭПП. В этой ситуации по сравнению с ситуацией УЗВ выявлено значимое увеличение когерентности для четырех пар отведений левого ( $Fp_1-C_3$ :  $p = 0,009$ ;  $Fp_1-P_3$ :  $p = 0,022$ ;  $F_3-O_1$ :  $p = 0,023$ ;  $C_3-O_1$ :  $p = 0,013$ ;) и одной пары отведений правого полушария ( $F_4-P_4$ :  $p = 0,018$ ;  $F_4-O_2$ :  $p = 0,003$ ) (рис. 1, Г).

*Различия когерентности в  $\alpha$ -диапазоне ЭЭГ при сравнении установочных ситуаций с исходным состоянием.* В ситуации ИПП по сравнению с ситуацией УЗВ выявлено значимое увеличение когерентности для трёх пар отведений левого ( $F_3-P_3$ :  $p = 0,023$ ;  $F_3-O_1$ :  $p = 0,028$ ;  $C_3-O_1$ :  $p = 0,024$ ) и двух – правого полушария ( $F_4-O_2$ :  $p = 0,0004$ ;  $C_4-O_2$ :  $p = 0,004$ ) (рис. 2, А).

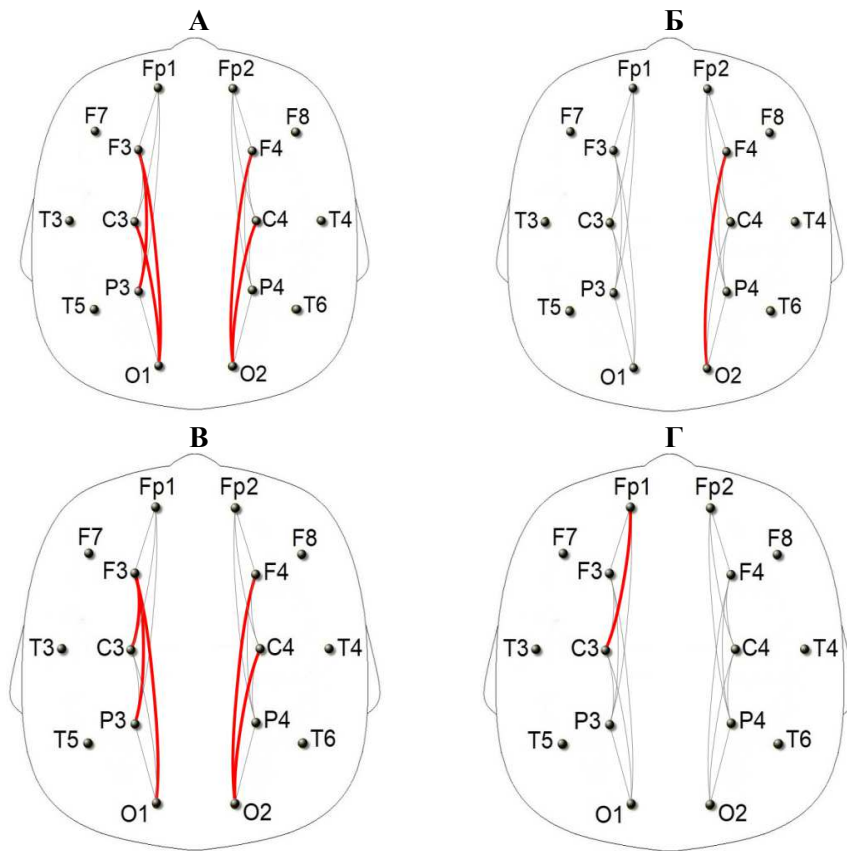


Рис. 2. Карты различий когерентности в  $\alpha$ -диапазоне ЭЭГ при сравнении установочных ситуаций: инструментального – А, эмоционального – Б, альтруистического – В и совокупности альтруистического и эмоционального поведения – Г с исходным состоянием. Остальные обозначения как на рис. 1.

В ситуации ЭПП по сравнению с ситуацией УЗВ выявлено значимое увеличение когерентности лишь для одной пары отведений правого полушария ( $F_4-O_2$ :  $p = 0,004$ ) (рис. 2, Б).

В ситуации АПП по сравнению с ситуацией УЗВ выявлено значимое увеличение когерентности для трёх пар отведений левого ( $F_3-C_3$ :  $p = 0,048$ ;  $F_3-P_3$ :  $p = 0,041$ ;  $F_3-O_1$ :  $p = 0,035$ ) и двух пар отведений правого полушария ( $F_4-O_2$ :  $p = 0,035$ ;  $C_4-O_2$ :  $p = 0,046$ ) (рис. 2, В).

В ситуации АЭПП по сравнению с ситуацией УЗВ выявлено значимое увеличение когерентности лишь для одной пары отведений левого ( $Fp_1-C_3$ :  $p = 0,026$ ) (рис. 2, Г).

*Различия когерентности в сенсомоторном  $\beta$ -диапазоне ЭЭГ при сравнении установочных ситуаций с исходным состоянием.* В ситуации ИПП по сравнению с ситуацией УЗВ выявлено значимое увеличение когерентности для пяти пар отведений левого ( $Fp_1-C_3$ :  $p = 0,026$ ;  $Fp_1-P_3$ :  $p = 0,011$ ;  $F_3-P_3$ :  $p = 0,028$ ;  $C_3-O_1$ :  $p = 0,024$ ;  $P_3-O_1$ :  $p = 0,024$ ) и четырех – правого полушария ( $F_4-C_4$ :  $p = 0,003$ ;  $F_4-P_4$ :  $p = 0,0008$ ;  $F_4-O_2$ :  $p = 0,020$ ;  $C_4-O_2$ :  $p = 0,016$ ) (рис. 3, А).

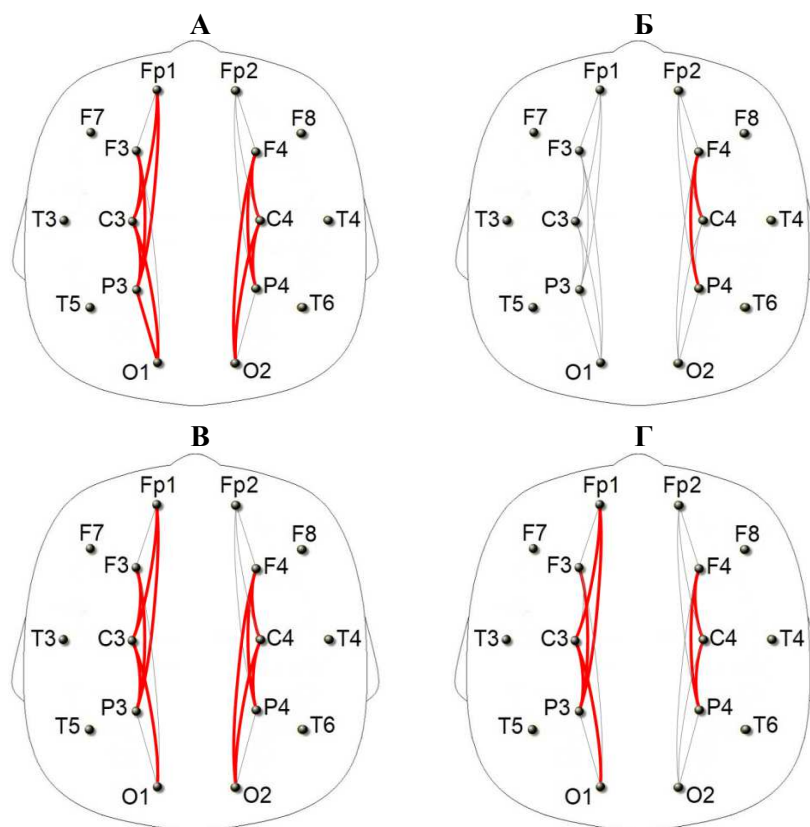


Рис. 3. Карты различий когерентности в сенсомоторном  $\beta$ -диапазоне ЭЭГ при сравнении установочных ситуаций: инструментального эмоционального, альтруистического и совокупности альтруистического и эмоционального поведения с исходным состоянием. Обозначения как на рис. 1.

В ситуации ЭПП по сравнению с ситуацией УЗВ выявлено значимое увеличение когерентности для двух пар отведений правого полушария ( $F_4-C_4$ :  $p = 0,005$ ;  $F_4-P_4$ :  $p = 0,010$ ) (рис. 3, Б).

В ситуации АПП по сравнению с ситуацией УЗВ выявлено значимое увеличение когерентности для четырёх пар отведений левого ( $Fp_1-C_3$ :  $p = 0,025$ ;  $Fp_1-P_3$ :  $p = 0,022$ ;  $F_3-P_3$ :  $p = 0,004$ ;  $C_3-O_1$ :  $p = 0,018$ ) и четырёх пар отведений правого полушария ( $F_4-C_4$ :  $p = 0,005$ ;  $F_4-P_4$ :  $p = 0,005$ ;  $F_4-O_2$ :  $p = 0,022$ ;  $C_4-O_2$ :  $p = 0,010$ ) (рис. 3, В).

В ситуации АЭПП по сравнению с ситуацией УЗВ выявлено значимое увеличение когерентности для четырёх пар отведений левого ( $Fp_1-C_3$ :  $p = 0,003$ ;  $Fp_1-P_3$ :  $p = 0,017$ ;  $F_3-P_3$ :  $p = 0,010$ ;  $C_3-O_1$ :  $p = 0,025$ ) и трёх пар отведений правого полушария ( $F_4-C_4$ :  $p = 0,004$ ;  $F_4-P_4$ :  $p = 0,022$ ;  $C_4-P_4$ :  $p = 0,001$ ) (рис. 3, Г).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наблюдаемые у участников исследования особенности динамики корково-коркового функционального взаимодействия в определенной степени объясняет концепция развития управляющих функций мозга (УФ) (brain executive functions) – функций программирования, избирательной регуляции и самоконтроля.

Эти функции, приписываемые лобной доле, обеспечивают процессы регуляции и организации целенаправленной деятельности [24, 25] и развиваются в процессе взросления [26].

Во время реализации ПП во всех четырех экспериментальных ситуациях наблюдался рост когерентности в  $\theta$ -,  $\alpha$ - и сенсомоторном  $\beta$ -диапазонах. Эти изменения указывают на повышение внутриполушарной интеграции, возможно, необходимой для реализации ПП.

Наше исследование проводилось с использованием ситуаций, которые характеризовались новизной для испытуемых. Следует полагать, что именно в этих условиях – неопределенности и новизны, когда привычные поведенческие схемы и автоматические реакции оказываются неэффективными, недостаточными или даже полностью невозможными УФ берут на себя задачу обеспечения построения/выбора линии поведения [27].

В контексте анализа наблюдаемых изменений ВПК изученных диапазонов ЭЭГ детей следует рассмотреть перестройки, происходящие в данном возрасте. Возраст детей, принявших участие в исследовании, был, как указано выше, в пределах от 4 до 7 лет. Многими исследователями подчеркивается, что именно в дошкольном возрасте наблюдается бурное развитие УФ [28, 29], которое отражается в более совершенной организации мыслительных процессов, возрастающей способности к переключению между задачами, меньшему проявлению импульсивных реакций на контекстные стимулы, возможности следования инструкциям и в формировании самоконтроля [25]. Считается, что эти изменения отражаются в развитии префронтальной и лобной коры и связей с другими корковыми и подкорковыми структурами [4, 9].

В свою очередь, от степени созревания нейронных структур префронтальной коры и фронто-париетальных связей зависит развитие когнитивных компонентов эмпатии, становление модели психического (*theory of mind*), а также способность



контролировать внимание и подавлять нежелательное поведение [30]. Известно, что лобные доли являются центрами нейронных сетей, поддерживающих мышление, планирование, исполнительные функции, контроль настроения и двигательную активность [31]. Усиление внутрислоушарных взаимодействий, сопровождающее когнитивные задачи может отражать оптимизацию функциональных систем интеграции мозговой активности, а также рост влияния лобной коры на другие регионы неокортекса, способствующие реализации ПП. ПП в условиях нашей экспериментальной ситуации требует от испытуемых повышения когнитивных усилий, индикатором которых является рост ВПК.

Характеризуя изменения ВПК, анализируемых в нашем исследовании ритмов ЭЭГ, следует обратить внимание на большую кооперацию нейронных ансамблей в левом полушарии по сравнению с правым. Левое полушарие традиционно связывают с сознательными процессами. Можно предположить, что наблюдаемая более выраженная кооперация корковых областей в левом полушарии ритмов ЭЭГ, по сравнению с правым, отражает процессы, лежащие в основе понимания проблем человека, нуждающегося в помощи, и принятия решений о его оказании.

Следует обратить внимание на зафиксированные в большей мере изменения когерентности  $\theta$ -ритма, сопровождающие реализацию совокупности альтруистического и эмоционального поведения. Считается, что  $\theta$ -ритм помогает координировать нейронную активность между областями мозга, которые участвуют в обучении и памяти [32]. Однако  $\theta$ -ритмы также появляются, когда субъекты сталкиваются с эмоциональными стимулами, что позволяет предположить, что они могут играть роль в социальном познании.

Как видно из рис. 2 в  $\alpha$ -диапазоне ЭЭГ наиболее выраженными явились изменения когерентности при реализации инструментального ПП. При этом усиливалась ВПК альфа-колебаний, способствующая фронто-париетальному (в левом полушарии), так и фронто-окципетальному (в обоих полушариях) взаимодействию. Предполагается, что эти изменения могут отражать селективную настройку работы мозга на выполнение инструментального ПП и о связи активизации механизмов внимания и рабочей памяти с усилением кортико-кортикальных взаимодействий в альфа-диапазоне.

Наиболее выраженными явились изменения когерентности в сенсомоторном  $\beta$ -диапазоне ЭЭГ. Известно, что динамика мощности  $\beta$ -ритма, прежде всего, связана с процессами реализации движений и сенсомоторной интеграцией, а также со зрительно-моторным вниманием [33]. Установлено, что когерентность данного ритма растет у взрослых испытуемых в условиях, требующих тонкого зрительного контроля [34, 35]. Поэтому наблюдаемые изменения ВПК  $\beta$ -ритма фронто-париетальных и центрально-окципетальных взаимодействий сопровождали реализацию, в основном, установочные ситуации требующие от испытуемых восприятия моторных компонентов действий и контроля собственных движений.

Дошкольный возраст характеризуется интенсивным развитием УФ, что делает его исключительно интересным и актуальным для тщательного изучения и анализа их влияния, как на особенности познавательной сферы и поведения, так и на

готовность детей к систематическому обучению. Степень развития УФ у дошкольников является предиктором последующих школьных успехов [36, 37].

Проведенное исследование позволило получить новые, ранее не описанные в специальной литературе данные о возрастных изменениях различных компонентов УФ в период от 4 до 7 лет.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-28-00720, <https://rscf.ru/project/22-28-00720/> с использованием оборудования ЦКП “Экспериментальная физиология и биофизика” и НКЦ “Технологии здоровья и реабилитации”.*

### Список литературы

1. Куприна Н. Г. Современные подходы к содержательной разработке понятий "Нравственность" и "Мораль" / Н. Г. Куприна, С. Ф. Масленникова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4. – С. 77.
2. Орехова Л. С. Психологические и психофизиологические механизмы становления морали у детей раннего возраста / Л. С. Орехова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Социология. Педагогика. Психология. – 2015. – Т. 1 (67), № 1. – С. 132–143.
3. Li J. The development of intent-based moral judgment and moral behavior in the context of indirect reciprocity: A cross-cultural study / J. Li, W. Hou, L. Zhu, M. Tomasello // Int. J. Behav. Dev. – 2020. – Vol. 44, No 6. – P. 525–533.
4. Decety J. The neurodevelopment of social preferences in early childhood / J. Decety, N. Steinbeis, J. M. Cowell // Curr. Opin. Neurobiol. – 2021. – Vol. 68. – P. 23–28.
5. Paulus M. Neural correlates of prosocial behavior in infancy: different neurophysiological mechanisms support the emergence of helping and comforting / M. Paulus, N. Kuhn-Popp, M. Licata, B. Sodian, J. Meinhardt // Neuroimage. – 2013. – Vol. 66. – P. 522.
6. Orekhova L. S. EEG patterns in early childhood differ between children prone to reward “Bad” or “Good” actors / L. S. Orekhova, S. A. Makhin, A. A. Mikhailova, V. B. Pavlenko // Psychology in Russia: State of the Art. – 2020. – Vol. 13, No 2. – P. 84–95.
7. Kenward B. Preschoolers distribute scarce resources according to the moral valence of recipients' previous actions / B. Kenward, M. Dahl // Dev. Psychol. – 2011. – Vol. 47, No 4. – P. 1054–1064.
8. Михайлова А. А. Реактивность сенсомоторных ритмов ЭЭГ при наблюдении за про- и антисоциальными действиями у детей в раннем возрасте / А. А. Михайлова, Л. С. Орехова, С. А. Махин, В. Б. Павленко // Журн. высш. нервн. деят. им. И.П. Павлова. – 2022. – Т. 72, № 2. – С. 217–226.
9. Курганский А. В. Оценка управляющих функций у детей 3-6 лет: состояние, проблемы и перспективы / А. В. Курганский // Журн. высш. нервн. деят. им. И. П. Павлова. – 2021. – Т. 71, № 4. – С. 468–484.
10. Rubinov M. Complex network measures of brain connectivity: uses and interpretations / M. Rubinov, O. Sporns // NeuroImage. – 2010. – Vol. 52, No 3. – P. 1059–1069.
11. Мачинская Р. И. Сравнительное электрофизиологическое исследование регуляторных компонентов рабочей памяти у взрослых и детей 7-8 лет. Анализ когерентности ритмов ЭЭГ / Р. И. Мачинская, А. В. Курганский // Физиология человека. – 2012. – Т. 38, № 1. – С. 5–19.
12. Bowyer S. M. Coherence a measure of the brain networks: past and present / S. M. Bowyer // NPER. – 2016. – Vol. 2, № 1.
13. Орехова Л. С. Динамика когерентности ритмов ЭЭГ при наблюдении за про- и антисоциальными действиями у детей в раннем возрасте / Л. С. Орехова, А. М. Куличенко, С. А. Махин, А. А. Михайлова, В. Б. Павленко // Физиология человека. – 2022, – Т. 48, № 6. – С. 1–12.
14. Куличенко А. М. Изменения межполушарных когерентных связей ритмов ЭЭГ при реализации помогающего поведения у детей дошкольного возраста / А. М. Куличенко, А. И. Кайда, А. А. Португальская, А. А. Михайлова, В. Б. Павленко // Ученые записки Крымского

- федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия. – 2022. – Т. 8 (74), № 3. – С. 135–147.
15. Ильина М. Н. Психологическая оценка интеллекта у детей / М. Н. Ильина. – П.: Питер, 2006. – 368 с.
  16. Филимоненко Ю. И. Тест Д. Векслера. Диагностика структуры интеллекта (детский вариант): методическое руководство / Ю. И. Филимоненко. – СПб. : ИМАТОН, 2016. – 106 с.
  17. Warneken F. Altruistic helping in human infants and young chimpanzees / F. Warneken, M. Tomasello // *Science*. – 2006. – Vol. 311, No 5765. – P. 1301–1303.
  18. Kochukhova O. Better language – faster helper: the relation between spontaneous instrumental helping action and language ability in family-reared and institutionalized toddlers / O. Kochukhova, Yu. Dyagileva, A. Mikhailova, L. Orekhova, S. Makhin, V. Pavlenko // *Psychol. Russia: State of the Art*. – 2021. – Vol. 14, No 4. – P. 79–94.
  19. Dunfield K. A. Examining the diversity of prosocial behaviour: helping, sharing, and comforting in infancy / K. A. Dunfield, V. A. Kuhlmeier, L. J. O’Connell, E. A. Kelley // *Infancy*. – 2011. – Vol. 16. – P. 227–247.
  20. Bischof-Köhler D. The development of empathy in infants. In M. E. Lamb & H. Keller (Eds.), *Infant development: Perspectives from German-speaking countries* / D. Bischof-Köhler. // Lawrence Erlbaum Associates, Inc. – 1991. – P. 245–273.
  21. Kärtner J. Socio-cognitive influences on the domain-specificity of prosocial behavior in the second year / J. Kärtner, N. Schuhmacher, J. Collard // *Infant Behavior & Development*. – 2014. – Vol. 37. – P. 665–675.
  22. Михайлова А. А. Реактивность мю-ритма ЭЭГ при наблюдении и выполнении действий у детей раннего возраста, имеющих разный уровень развития рецептивной речи / А. А. Михайлова, Л. С. Орехова, Ю. О. Дягилева, Т. И. Мухтаримова, В. Б. Павленко // *Журн. высш. нервн. деят. им. И. П. Павлова*. – 2020. – Т. 70, № 3. – С. 422–432.
  23. Simon S. Power modulation of electroencephalogram mu and beta frequency depends on perceived level of observed actions / S. Simon, R. Mukamel // *Brain Behav*. – 2016. – Vol. 6, No 8. – P. 11.
  24. Лобные доли и регуляция психических процессов / под ред. А. Р. Лурия, Е. Д. Хомской. М.: Изд-во Московского университета, 1966. – 740 с.
  25. Захарова М. Н. Управляющие функции мозга и готовность к систематическому обучению у старших дошкольников / М. Н. Захарова, Р. И. Мачинская, А. Р. Агрис // *Культурно-историческая психология*. – 2022. – Т. 18, № 3. – С. 81–91.
  26. Guevara M. A. Prefrontal-parietal correlation during performance of the towers of Hanoi task in male children, adolescents and young adults / M. A. Guevara, L. E. Rizo Martínez, F. A. Robles Aguirre, M. Hernández González // *Dev. Cogn. Neurosci*. – 2012. – Vol. 2, No 1. – P. 129–138.
  27. Diamond A. Executive Functions / A. Diamond // *Annual Review of Psychology*. – 2013. – Vol. 64. – P. 135–168.
  28. Carlson S. M. Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children / S. M. Carlson // *Dev. Neuropsychol*. – 2005. – Vol. 28, No 2. – P. 595–616.
  29. Garon N. Executive function in preschoolers: A review using an integrative framework / N. Garon, S. E. Bryson, I. M. Smith // *Psychological Bulletin*. – 2008 – Vol. 134, No 1. – P. 31–60.
  30. Marshall P. J. Development of the EEG from 5 months to 4 years of age / P. J. Marshall, Y. Bar-Haim, N. A. Fox // *Clin. Neurophysiol*. – 2002. – Vol. 113, No 8. – P. 1199–1208.
  31. Alvarez J. A. Executive function and the frontal lobes: a meta-analytic review / J. A. Alvarez, E. Emory // *Neuropsychology Review*. – 2006. – Vol. 16, No 1. – P. 17–42.
  32. Sarnthein J. Synchronization between prefrontal and posterior association cortex during working memory tasks in humans / J. Sarnthein, P. Rappelsberger, G. L. Shaw, et al. // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. – 1998. – Vol. 95. – P. 7092–7096.
  33. Kilavik B. E. The ups and downs of  $\beta$  oscillations in sensorimotor cortex / B. E. Kilavik, M. Zaepffel, A. Brovelli, et al. // *Exp. Neurol*. – 2013. – Vol. 245. – P. 15.
  34. Chung J. W. Beta-band activity and connectivity in sensorimotor and parietal cortex are important for accurate motor performance / J. W. Chung, E. Ofori, G. Misra, et al. // *Neuroimage*. – 2017. – Vol. 144. – P. 164.

35. Aprigio D. Dopaminergic drugs alter beta coherence during motor imagery and motor execution in healthy adults / D. Aprigio, G. K. Tanaka, J. Bittencourt, et al. // *Arq. Neuropsiquiatr.* – 2020. – Vol. 78, No 4. – P. 199.
36. Zelazo P. D. Executive function: Implications for education (Report No. NCER 2017–2000). / P. D. Zelazo, C. B. Blair, M. T. Willoughby. Washington, DC: National Center for Education Research, Institute of Education Sciences, 2016, U.S. Department of Education.
37. Cortés Pascual A. The relationship between executive functions and academic performance in primary education: review and meta-analysis / A. Cortés Pascual, N. Moyano Muñoz, A. Quílez Robres // *Front. Psychol.* – 2019. – Vol. 10. – P. 1–18.

## CHANGES IN INTRAHEMISPHERE COHERENT RELATIONS OF EEG RHYTHMS DURING THE IMPLEMENTATION OF HELPING BEHAVIOR IN PRESCHOOL CHILDREN

*Kulichenko A. M., Kaida A. I., Portugalskaya A. A., Mikhailova A. A., Arkhangelskaya E. V., Pavlenko V. B.*

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Republic of Crimea, Russia  
E-mail: alexander.kulichenko@gmail.com*

The central mechanisms of the formation of prosocial behavior in children are based on the processes of interaction and integration of different areas of the brain into a distributed system that ensures the performance of tasks that require the activation of voluntary attention and memory. Analysis of intrahemispheric coherence (IHC) between the anterior, central, and posterior regions of the neocortex based on the assessment of EEG coherence during the implementation of helping behavior (HB) makes it possible to judge the development of fronto-parietal-temporal networks, which are critical for the adequate formation of prosocial behavior in children. The purpose of this work was to establish the dynamics of IHC in preschool children during the implementation of HB in the theta-, alpha- and beta-ranges of the EEG within the left and right hemispheres.

The study involved 24 children (16 boys and 8 girls) aged 4–7 years. To study the neurophysiological correlates of PP, four experimental situations were used: a task for the implementation of instrumental helping behavior (IHB), emotional helping behavior (EHB), altruistic helping behavior (AHB), a complex of altruistic and emotional helping behavior (AEHB).

EEG was recorded monopolarly from 19 leads according to the standard 10–20 % scheme. The background EEG recording (duration 50 s) was performed with the eyes open under conditions of sustained visual attention. The duration of EEG recordings in experimental situations depended on the time after which the child provided assistance. EEG coherence indices were calculated in individual frequency ranges for each subject between pairs of leads of the prefrontal, frontal, central, parietal and occipital areas of the left (Fp1-F3, Fp1-C3, Fp1-P3, F3-C3, F3-P3, F3-O1, C3-P3, C3-O1, P3-O1) and right (Fp2-F4, Fp2-C4, Fp2-P4, F4-C4, F4-P4, F4-O2, C4-P4, C4-O2, P4-O2) hemispheres.

A significant increase in the coherence of the theta rhythm was revealed in the situation of IHB compared with the background for two pairs of leads of the left and two pairs of

leads of the right hemisphere. In the situation of EHB, a significant increase in the coherence of the theta rhythm was revealed for one pair of leads of the right hemisphere. In the situation of APP, a significant increase in the coherence of the theta rhythm was revealed for two pairs of leads of the left and one pair of leads of the right hemisphere. The most pronounced changes in coherence were recorded in the AEHB situation. In this situation, in comparison with the background, a significant increase in coherence was revealed for four pairs of leads of the left hemisphere and one pair of leads of the right hemisphere.

A significant increase in the coherence of the alpha rhythm was found in the situation of IHB for three pairs of leads in the left and two pairs in the right hemisphere. In the EHB situation, a significant increase in coherence in the alpha rhythm range was revealed only for one pair of leads in the right hemisphere. In the situation of AHB, a significant increase in coherence was revealed for three pairs of leads of the left and two pairs of leads of the right hemisphere. In the situation of AEHB, a significant increase in coherence was revealed only for one pair of leads of the left hemisphere.

A significant increase in the coherence of the beta rhythm was revealed in the situation of IHB for five pairs of leads of the left and four pairs of leads of the right hemisphere. In the situation of EHB, a significant increase in coherence was revealed for two pairs of leads in the right hemisphere. In the AHB P situation, a significant increase in coherence was found for four pairs of leads of the left and four pairs of leads of the right hemisphere. In the situation of AEHB, a significant increase in coherence was revealed for four pairs of leads of the left and three pairs of leads of the right hemisphere.

Thus, it was found that during the implementation of HB, the participants of the study showed an increase in the coherence of the EEG IHC, depending on the content of the task offered to the child. The pattern of changes is specific for each of the EEG frequency ranges.

**Keywords:** preschool children, prosocial behavior, helping behavior, EEG coherence.

#### References

1. Kuprina N. G. and Maslennikova S. F. Current approaches to defining the «Morality» and «Moral» terms concept. *Modern problems of science and education*, **4**, 77 (2015).
2. Orekhova L. C. Psihologicheskie i psihofiziologicheskie mekhanizmy stanovleniya morali u detej rannego vozrasta. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo Sociologiya. Pedagogika. Psihologiya*, **67**, 132 (2015).
3. Li J., Hou W., Zhu L. and Tomasello M. The development of intent-based moral judgment and moral behavior in the context of indirect reciprocity: A cross-cultural study. *Int. J. Behavior Dev.*, **44**, 525 (2020).
4. Decety J., Steinbeis N. and Cowell J.M. The neurodevelopment of social preferences in early childhood. *Curr. Opin. Neurobiol.*, **68**, 23 (2021).
5. Paulus M., Kuhn-Popp N., Licata M., Sodian B. and Meinhardt J. Neural correlates of prosocial behavior in infancy: different neurophysiological mechanisms support the emergence of helping and comforting. *Neuroimage*, **66**, 522 (2013).
6. Orekhova L.S., Makhin S.A., Mikhailova A.A. and Pavlenko V.B. EEG patterns in early childhood differ between children prone to reward “bad” or “good” actors. *Psychol. Russ.*, **13**, 84 (2020).
7. Kenward B. and Dahl M. Preschoolers distribute scarce resources according to the moral valence of recipients' previous actions, *Dev. Psychol.*, **47**, 1054 e-print doi: 10.1037/a0023869 (2011).

8. Mikhailova A. A., Orekhova L. S., Makhin S. A. and Pavlenko V. B. Reactivity of EEG sensorimotor rhythms during observation of pro- and antisocial actions in children at an early age. *Zh. Vyssh. Nerv. Deyat.*, **72**, 217 (2022).
9. Kurgansky A. V. Assessment of executive functions in children 3-6 years old: current state, problems and future directions. *Neurosci. Behav. Physiol.*, **71**, 468 (2021).
10. Rubinov M. and Sporns O. Complex network measures of brain connectivity: uses and interpretations. *NeuroImage*, **52**, 1059 (2010).
11. Machinskaya R. I. and Kurgansky A. V. A comparative electrophysiological study of regulatory components of working memory in adults and children of 7–8 years old. An analysis of coherence of EEG rhythms. *Fiziologiya Cheloveka*, **38**, 5 (2012).
12. Bowyer S. M. Coherence a measure of the brain networks: past and present. *NPEP*, **2**, e-print doi: 10.1186/s40810-015-0015-7 (2016).
13. Orekhova L. S., Kulichenko A. M., Makhina S. A., Mikhailova A. A. and Pavlenko V. B. Coherence dynamics in the EEG rhythms during the observation of pro- and antisocial behavior in children at an early age. *Human Physiology*, **49**, 12 (2023).
14. Kulichenko A. M., Kaida A. I., Portugal'skaya A. A., Mikhailova A. A., and Pavlenko V. B. Changes in interhemispheric coherent relationships of EEG rhythms during the implementation of helping behavior in preschool children. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **8**, 135 (2022).
15. П'ина М. Н. *Психологическая оценка интеллекта у детей* (Питер, 2006).
16. Filimonenko Yu. I. Test D. Vekslera. *Диагностика структуры интеллекта (детский вариант): методическое руководство* (Imaton, 2016).
17. Warneken F., Tomasello M. Altruistic helping in human infants and young chimpanzees. *Science*, **311**, 1301 (2006).
18. Kochukhova O., Dyagileva Yu., Mikhailova A., Orekhova L., Makhin S. and Pavlenko V. Better language – faster helper: the relation between spontaneous instrumental helping action and language ability in family-reared and institutionalized toddlers. *Psychol. Russia: State of the Art*, **14**, 79 (2021).
19. Dunfield K. A., Kuhlmeier V. A., O'Connell L. J., Kelley E. A. Examining the diversity of prosocial behaviour: helping, sharing, and comforting in infancy. *Infancy*, **16**, 227 (2011).
20. Bischof-Köhler D. The development of empathy in infants. In M. E. Lamb & H. Keller (Eds.), *Infant development. Perspectives from German-speaking countries* (Lawrence Erlbaum Associates Inc, 1991).
21. Kärtner J., Schuhmacher N. and Collard J. Socio-cognitive influences on the domain-specificity of prosocial behavior in the second year. *Infant Behavior & Development*, **37**, 665 (2014).
22. Mikhailova A. A., Orekhova L. S., Dyagileva Yu. O., Mukhtarimova T. I. and Pavlenko V. B. Reactivity of the EEG  $\mu$  rhythm on observing and performing actions in young children with different levels of receptive speech development. *Zh. Vyssh. Nerv. Deyat.*, **72**, 217 (2020).
23. Simon S. and Mukamel R. Power modulation of electroencephalogram mu and beta frequency depends on perceived level of observed actions. *Brain Behav.* e-print doi: 10.1002/brb3.494 (2016).
24. Luriya A. Lobnye doli i regulyaciya psihicheskikh processov [Frontal lobes and regulation of mental processes]. M.: Izd-vo MGU (in Russian). (1966).
25. Zakharova M. N., Machinskaya R. I. and Agris A. R. Brain executive functions and learning readiness in senior preschool age. *Cultural-Historical Psychology*, **18**, 81 e-print doi: 10.17759/chp.2022180311 (2022).
26. Guevara M. A., Rizo Martínez L. E., Robles Aguirre F. A and Hernández González M. Prefrontal-parietal correlation during performance of the towers of Hanoi task in male children, adolescents and young adults. *Dev. Cogn. Neurosci.*, **2**, 129 (2012).
27. Diamond A. Executive functions. *Annual Review of Psychology*, **64**, 135 e-print doi: 10.1146/annurev-psych-113011-143750 (2013).
28. Carlson S. M. Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children. *Dev. Neuropsychol.*, **28**, 595 e-print doi: 10.1207/s15326942dn2802\_3 (2005).
29. Garon N., Bryson S. E. and Smith I. M. Executive function in preschoolers: a review using an integrative framework. *Psychological Bulletin*, **134**, 31 e-print doi: 10.1037/0033-2909.134.1.31 (2008).
30. Marshall P. J., Bar-Haim Y. and Fox N. A. Development of the EEG from 5 months to 4 years of age. *Clin. Neurophysiol.*, **113**, 1199 (2002).

31. Alvarez J. A. and Emory E. Executive function and the frontal lobes: a meta-analytic review. *Neuropsychology Review*, **16**, 17 (2006).
32. Sarnthein J., Rappelsberger P., Shaw G. L. et al. Synchronization between prefrontal and posterior association cortex during working memory tasks in humans. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **95**, 7092 (1998).
33. Kilavik B. E., Zaepffel M., Brovelli A. et al. The ups and downs of  $\beta$  oscillations in sensorimotor cortex. *Exp. Neurol.*, **245**, 15 (2013).
34. Chung J. W., Ofori E., Misra G. et al. Beta-band activity and connectivity in sensorimotor and parietal cortex are important for accurate motor performance. *Neuroimage*, **144**, 164 (2017).
35. Aprigio D., Tanaka G. K., Bittencourt J. et al. Dopaminergic drugs alter beta coherence during motor imagery and motor execution in healthy adults. *Arq. Neuropsiquiatr.*, **78**, 199 (2020).
36. Zelazo P. D., Blair C. B. and Willoughby M. T. Executive function: Implications for education (Report No. NCER 2017–2000). Washington, DC: National Center for Education Research, Institute of Education Sciences, U.S. Department of Education (2016).
37. Cortés Pascual A., Moyano Muñoz N. and Quílez Robres A. The relationship between executive functions and academic performance in primary education: review and meta-analysis. *Front. Psychol.*, e-print doi: 10.1582. 10.3389/fpsyg.2019.01582 (2019).