

# Половые различия спектральных характеристик фоновой ЭЭГ у детей младшего школьного возраста

Формирование биоэлектрической активности головного мозга происходит по-разному у мальчиков и девочек. В большинстве исследований представлены результаты половых различий функциональной организации мозга у подростков и взрослых. Однако до настоящего времени сохраняется мнение об отсутствии половых различий у детей до начала пубертата. **Цель исследования:** определить особенности биоэлектрической активности головного мозга у детей младшего школьного возраста в зависимости от пола. **Методы.** На основании информированного согласия родителей в исследовании (2012–2014 г.) приняли участие 200 праворуких детей в возрасте 7–10 лет, обучающихся в образовательных школах. Все дети были разделены на группы с учетом биологического возраста и пола. Электроэнцефалограмму регистрировали монополярно в 16 стандартных отведениях. Оценивали изменения максимальной амплитуды, полной мощности, доминирующей частоты и индекса мощности основных ритмов. **Результаты.** Выявлено преобладание медленноволновой дельта- и тета-активности среди мальчиков 7 и 10 лет, а также активности тета-диапазона у девочек 9 лет. Доказано увеличение доминирующей частоты альфа-диапазона у девочек 7 лет в затылочных ( $p \leq 0,016$ ) и височных ( $p \leq 0,045$ ) областях головного мозга, а полной мощности данного ритма — у девочек 8 лет в левом полушарии ( $p \leq 0,023$ ) и девочек 9 лет в правом полушарии ( $p \leq 0,040$ ) головного мозга. В возрасте 10 лет полная мощность альфа-диапазона приобретает наибольшие значения у мальчиков ( $p \leq 0,038$ ). Среди высокочастотных составляющих выявлено преобладание индекса бета-диапазонов у девочек 7 и 10 лет. Для мальчиков 7 лет характерно повышение амплитуды колебаний бета-1-диапазона преимущественно в сенсомоторных областях коры. **Заключение.** Выявленные половые различия электроэнцефалограммы свидетельствуют о большей зрелости центральной нервной системы у девочек при сравнении с мальчиками. Показано, что возраст 9 лет является активным периодом формирования лобных долей коры головного мозга у девочек.

**Ключевые слова:** ЭЭГ, спектральный анализ, дети младшего школьного возраста, мальчики, девочки, половые особенности.

(Для цитирования: Грибанов А.В., Джос Ю.С. Половые различия спектральных характеристик фоновой ЭЭГ у детей младшего школьного возраста. Вестник РАМН. 2016;71(1):52–60. doi: 10.15690/vramn623)

## Обоснование

Формирование структурно-функциональной организации мозга в постнатальном онтогенезе продолжается в течение длительного периода [1, 2]. Младший школьный возраст характеризуется интенсивным созреванием центральной нервной системы (ЦНС), существенными

преобразованиями в коре больших полушарий, и как следствие, этого значительными изменениями характера электроэнцефалограммы (ЭЭГ) [3, 4]. В исследованиях разных авторов описаны возрастные изменения ЭЭГ у детей и подростков [5–7]. Доказано, что с возрастом происходит уменьшение доли низкочастотных дельта- и тета-колебаний [8], что проявляется снижением спек-

A.V. Gribanov, Y.S. Dzhos

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russian Federation

## Sex Differences of Spectral Characteristics of Baseline EEG in Primary School-Aged Children

The formation of brain bioelectrical activity occurs differently in girls and boys. The results of primary investigations show gender differences of functional brain organization in adolescents and adults. However, there is an opinion on the lack of gender distinctions in children before puberty.

**Objective:** to define features of brain bioelectrical activity in primary school-aged children depending on a gender. **Methods:** on the basis of parental consent 200 7–9 aged right-handed schoolchildren took part in research (2012–2014). All children were divided into groups depending on biological age and gender. The monopolar electroencephalogram was registered according to 16 standard leads. Changes of the maximal amplitude, full power, the dominant frequency and the index of the main rhythms power of the electroencephalogram were assessed. **Results:** Prevalence of slow wave delta and theta activity in boys of 7 and 10 years, and also activities of theta range in 9-aged girls were revealed. The increase of the dominant alpha range frequency in 7-aged girls in occipital ( $p \leq 0,016$ ) and temporal ( $p \leq 0,045$ ) brain regions, and rising of full power of this rhythm in 8 aged girls in the left hemisphere ( $p \leq 0,023$ ) while in 9-year aged girls — in the right hemisphere ( $p \leq 0,040$ ) were proved. At the age of 10 years full power of alpha range has the largest values in boys ( $p \leq 0,038$ ). Among high-frequency components the predominance of the index beta-ranges in girls of 7 and 10 years were revealed. The increase in amplitude fluctuations in beta-1-range mainly in the sensorimotor brain areas was typical for 7 aged boys. **Conclusion:** The revealed gender distinctions of the electroencephalogram testify to a larger maturity of the central nervous system in girls comparing with boys. It is shown that the age of 9 years is the active period of the cerebral cortex frontal lobes formation in girls.

**Key words:** EEG, spectral analysis, primary school-aged children, boys, girls, gender differences.

(For citation: Gribanov AV, Dzhos YS. Sex Differences of Spectral Characteristics of Baseline EEG at Primary School-Aged Children. Annals of the Russian Academy of Medical Sciences. 2016;71(1):52–60. doi: 10.15690/vramn623)

тров мощности этих составляющих, а также формируется регулярный альфа-ритм с доминирующей частотой 8–10 Гц [9, 10] с распространением его на теменные [11] и передние отделы мозга [12, 13]. При этом особый интерес представляют исследования формирования половых особенностей биоэлектрической активности головного мозга, однако в большинстве работ представлены данные, полученные у взрослых и подростков, достигших периода полового созревания. Несмотря на то, что ряд авторов указывает на наличие половых различий [3, 6, 13], некоторые исследователи придерживаются мнения об отсутствии таковых до начала пубертата [14–16].

С другой стороны, у детей раннего, дошкольного и младшего школьного возраста отмечаются разнообразные проявления половых особенностей. Так, в первые годы жизни девочки успешнее овладевают мелкой моторикой рук [17], превосходят мальчиков по вербальным способностям [18–20]. Они не отличаются от мальчиков по скорости овладения речью, но начинают раньше говорить, при этом их речь более правильная и сложная [21]. Девочки лучше решают задания по математике, в которых требуется найти логические аналогии [22]. Мальчики, в свою очередь, превосходят девочек в пространственных умениях [23], что требует высокой познавательной активности и позволяет им лучше справляться с геометрическими задачами. Специализация правого полушария мозга в отношении пространственных функций сформирована у мальчиков уже в 6 лет, тогда как у девочек она формируется к 13 годам [21].

Выявленные половые различия обусловлены структурно-функциональными особенностями головного мозга [24, 25]. Так, общий объем мозга у мальчиков в среднем на 8% больше, чем у девочек, при этом объем белого вещества у мальчиков увеличивается медленнее [26]. Для девочек характерно снижение аксональной плотности подкорковых структур и ее увеличение в различных участках коры головного мозга [27]. Объем серого вещества значительно больше у девочек в верхней височной извилине, нижней и средней лобных извилинах обоих полушарий. Объем белого вещества также преобладает у девочек при сравнении с мальчиками, но в височной доле левого полушария, в нижней теменной извилине правого полушария, а также средней лобной извилине обоих полушарий [28]. Описаны половые различия и особенности строения гипоталамуса и миндалина [29], а также мозолистого тела [30].

Изученные особенности полового диморфизма ЦНС находят отражение в биоэлектрической активности головного мозга среди мальчиков и девочек. Исследования половых различий локальных характеристик ЭЭГ с помощью спектрально-частотных методов анализа немногочисленны и противоречивы. Так, в ряде работ [3, 6, 31] были выявлены различия в бета- и альфа-диапазоне частот, при этом у девочек наблюдали меньшую мощность колебаний ЭЭГ в альфа-диапазоне по сравнению с мальчиками, а большую — в бета-диапазоне. В других же исследованиях [13, 32] у девочек при сравнении с мальчиками выявлены меньшие значения спектральной мощности колебаний в тета-диапазоне и большие значения мощности альфа-диапазона. Имеются данные о преобладании тета- и дельта-активности у мальчиков до 9-летнего возраста, а после указанного возраста — у девочек [3]. Доказано, что основные этапы перестройки волновой структуры ЭЭГ у девочек происходят раньше, чем у мальчиков. При этом формирование ритмического паттерна ЭЭГ и у мальчиков и у девочек происходят до начала пубертатного периода и эндокринных перестроек

организма, тогда как стабилизация паттерна ЭЭГ в различных корковых зонах продолжается весь подростковый период [33].

Таким образом, изучение половых особенностей формирования ЦНС в постнатальном онтогенезе является одним из актуальных направлений нейрофизиологии и педиатрии. Этим и обусловлено проведение данного исследования.

**Цель исследования:** определить особенности спектральных характеристик ЭЭГ у детей младшего школьного возраста в зависимости от пола.

## Методы

### Дизайн исследования

В поперечном одномоментном исследовании приняли участие школьники в возрасте 7–10 лет.

### Критерии соответствия

Все обследованные дети являлись праворукими и обучались в общеобразовательных школах. Среди первокурсников дополнительным критерием включения в группу было завершение периода адаптации к школе.

### Условия проведения

Для уточнения анамнеза жизни проводили анкетирование родителей, при этом большое внимание уделяли особенностям течения беременности и родов у матери, развитию ребенка с рождения и до момента исследования, перенесенным заболеваниям, наличию хронических заболеваний и функциональных отклонений, степени адаптации к дошкольным и школьным учреждениям, наличию признаков эмоциональных нарушений и поведенческих расстройств. С помощью специальных вопросов интервью изучали особенности обучения ребенка в школе, трудности в овладении различными навыками, предпочтения и интересы, семейные факторы.

Для определения тревожности использовали методику «Многомерная оценка детской тревожности» Е.Е. Ромицыной. Проводили нейропсихологическую диагностику, определяли особенности нейродинамики, сформированности произвольной регуляции деятельности и межполушарного взаимодействия у детей. Стадии полового созревания оценивали по методике Таннера в модификации Д.В. Колесова и Н.Б. Сельверовой.

Для регистрации, обработки и анализа биоэлектрической активности головного мозга применяли комплекс компьютерный многофункциональный «Нейрон-Спектр-4/ВПМ» (ООО «Нейрософт», Иваново, Россия). Активные электроды накладывались в соответствии с международной схемой «10–20», монополярно в 16 стандартных отведениях — лобных (F1, F2, F3, F4, F7, F8), центральных (C3, C4), височных (T3, T4, T5, T6), теменных (P3, P4), затылочных (O1, O2). Референтные электроды располагались на мочках ушей. Оценка биоэлектрической активности головного мозга проводили в комфортной привычной обстановке в период с 9 до 14 ч. Электроэнцефалограмму регистрировали в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами в течение 3 мин, после периода адаптации. Частота дискретизации ЭЭГ-сигнала — 1000 Гц. При оценке ЭЭГ у каждого испытуемого выделяли безартефактные отрезки записи длительностью 30 с. Анализ ЭЭГ проводили на основе Фурье-преобразования. Эпоха анализа составляла 5 с. Полученные данные являлись результатом усреднения по шести эпохам. Спектр анализировали по дельта-

(1,6–4 Гц), тета- (4–8 Гц), альфа- (8–13 Гц), бета1- (13–20 Гц) и бета2- (20–34 Гц) диапазонам. В каждом частотном диапазоне оценивали максимальную амплитуду (мкВ), максимальную, среднюю и полную мощность (мкВ<sup>2</sup>), доминирующую частоту ритма (Гц), индекс мощности (%) и асимметрию мощности (%).

**Продолжительность исследования**

Исследование проведено в 2012–2014 гг.

**Этическая экспертиза**

Исследование проводилось на добровольной основе с соблюдением всех принципов биомедицинской этики.

**Статистический анализ**

**Принципы расчета выборки**

Объем выборки был рассчитан по формуле, используемой для количественных признаков с известной численностью генеральной совокупности [34]:

$$n = s^2 Z_{\alpha}^2 N / \Delta^2 N + s^2 Z_{\alpha}^2,$$

где N — объем генеральной совокупности, Δ — ошибка выборки (для расчетов принят уровень 5%), s — стандартное отклонение, Z<sub>α</sub> — критическое значение нормального стандартного распределения (1,645<sup>2</sup> для p<0,05). Численность детей в возрасте 7–10 лет в Российской Федерации на 01 января 2014 г. составила 5 862 964 человека [35]. Учитывая изучение нескольких переменных, объем выборки рассчитан для одного из главных параметров — полной мощности. Выбрано наибольшее значение стандартного отклонения — 43. Расчетный объем выборки составил 200 человек.

**Методы статистического анализа данных**

Результаты исследования анализировались с помощью статистического пакета SPSS 21.0 for Windows. Производилась оценка распределения признаков на нормальность с применением критерия Шапиро–Уилка. Для описательной статистики признаков использовали среднее (M) и стандартное отклонение (s) в случае нормального распределения данных, а также медиану (Me) и интервал значений от первого (Q1) до третьего

(Q3) квантиля — в случае распределения, отличного от нормального. Применяли параметрические методы — t-критерий Стьюдента и непараметрические — критерий Манна–Уитни. За критический уровень статистической значимости принимался p<0,05.

**Результаты**

**Участники исследования**

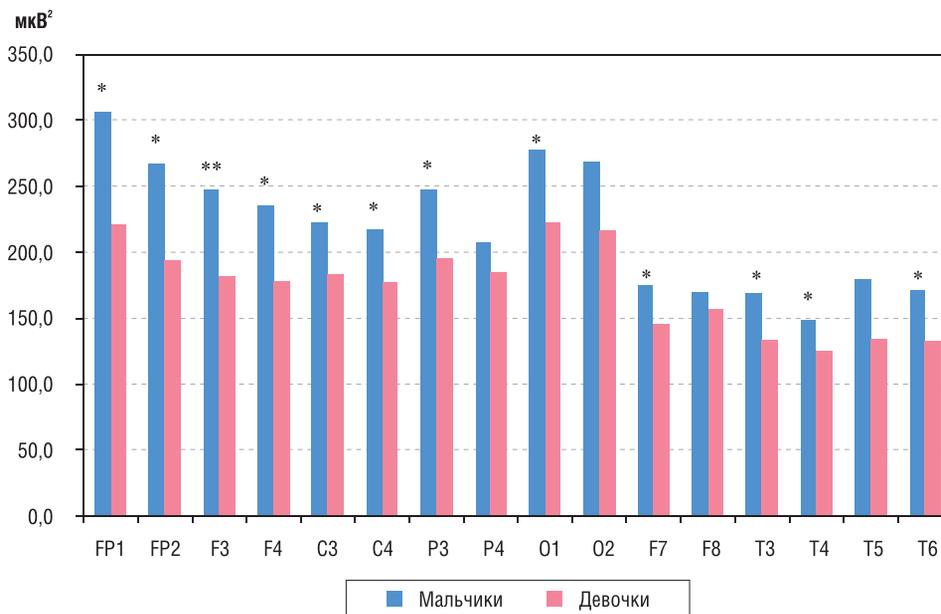
В исследовании приняли участие 200 детей 7–10 лет, из них в возрасте 7 лет — 49 человек (21 мальчик и 28 девочек), 8 лет — 53 человека (27 мальчиков и 26 девочек), 9 лет — 52 человека (23 мальчика и 29 девочек) и 10 лет — 46 человек (20 мальчиков и 26 девочек). Все дети были разделены на группы с учетом биологического возраста и пола. Группы детей не отличались по отклонениям в перинатальном анамнезе, нейропсихологическому статусу и уровню тревожности. Все школьники находились на первой стадии полового созревания.

**Основные результаты исследования**

При анализе спектральных характеристик ЭЭГ во время спокойного бодрствования с закрытыми глазами нами была выявлена одна и та же тенденция изменений среди максимальной, средней и полной мощностями во всех изучаемых диапазонах. В данном исследовании мы остановились на описании полной мощности как наиболее информативной характеристике.

Изменения полной мощности дельта-диапазона выявлены у детей 7 (рис. 1) и 10 лет (рис. 2).

Так, для мальчиков 7-летнего возраста характерны более высокие показатели полной мощности в лобных (p<0,025), центральных (p<0,034) и передневисочных (p<0,043) областях обоих полушарий, а также в теменно-затылочной области левого полушария (p<0,040). Несмотря на то, что половые различия среди полной мощности колебаний дельта-диапазона у школьников 8 и 9 лет не были выявлены, в 10-летнем возрасте показатели полной мощности вновь преобладают у мальчиков. Данные изменения выражены в лобных (p<0,020) и затылочных областях (p<0,048) обоих полушарий, а также



**Рис. 1.** Половые различия полной мощности дельта-диапазона у детей 7 лет  
 Примечание.\* — p<0,05; \*\* — p<0,01.

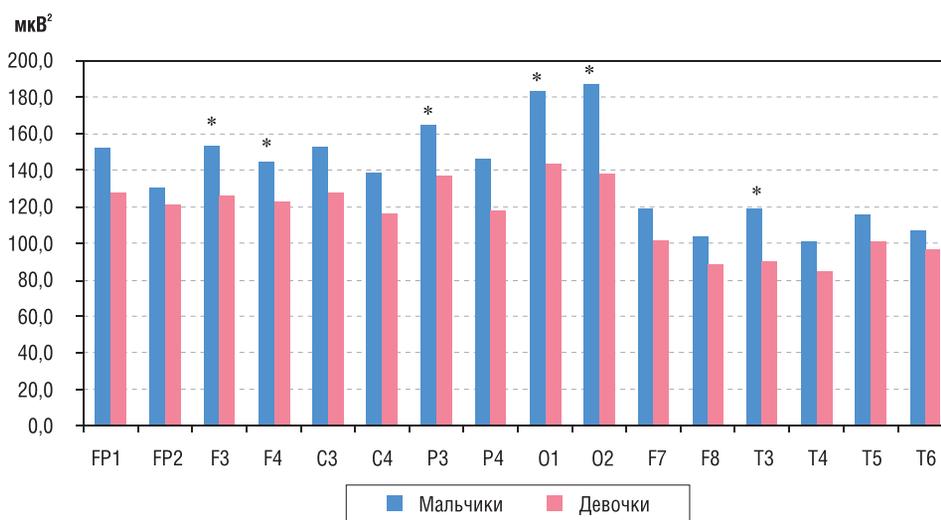


Рис. 2. Половые различия полной мощности дельта-диапазона у детей 10 лет

Примечание.\* —  $p < 0,05$ .

в теменной ( $p \leq 0,039$ ) и передневисочной ( $p \leq 0,013$ ) области слева.

При изучении спектральных характеристик колебаний тета-диапазона нами выявлено преобладание максимальной амплитуды у мальчиков 7 лет в теменно-височно-затылочной ( $p \leq 0,007$ ) области правого полушария и теменно-затылочной области ( $p \leq 0,007$ ) левого полушария. Значимые половые различия полной мощности тета-диапазона характерны только для детей 9 лет. В этом возрасте отмечается преобладание данного параметра среди девочек в лобных областях обоих полушарий ( $p \leq 0,019$ ), а также в центральной ( $p = 0,035$ ) области правого полушария (рис. 3).

Необходимо отметить, что данная разница выявлена за счет снижения изучаемого показателя у мальчиков 9 лет, т.к. в динамике значения полной мощности колебаний тета-диапазона у мальчиков уменьшаются при переходе от 8 к 9 годам, в то время как у девочек 8 и 9 лет остаются на одном и том же уровне.

Полная мощность альфа-диапазона имеет выраженные изменения, связанные с полом (табл.). Хотя в 7-летнем возрасте нами не выявлено статистически значимых различий между мальчиками и девочками, но отмечена тенденция увеличения данной характеристики среди дево-

чек. В возрасте 8 лет у девочек полная мощность альфа-диапазона достигает статистически значимых различий преимущественно в лобных ( $p \leq 0,023$ ) и височной ( $p = 0,019$ ) областях левого полушария, в то время как в 9-летнем возрасте она наиболее выражена в лобных ( $p \leq 0,040$ ) областях, а также в центральной ( $p = 0,017$ ), теменной ( $p = 0,013$ ) и височных ( $p \leq 0,015$ ) областях правого полушария при сравнении с мальчиками того же возраста. Однако в возрасте 10 лет полная мощность колебаний альфа-диапазона приобретает наибольшие значения у мальчиков. Данные изменения выявлены в затылочных областях обоих полушарий ( $p \leq 0,006$ ), а также в лобных областях ( $p \leq 0,034$ ) и центральной ( $p = 0,038$ ) зоне левого полушария.

Для девочек 7 лет характерно преобладание доминирующей частоты альфа-диапазона в затылочных ( $p \leq 0,016$ ) и височных ( $p \leq 0,045$ ) областях головного мозга. Увеличение доминирующей частоты альфа-диапазона у мальчиков наблюдается так же, как и у девочек, в задних отделах мозга, но в более поздние сроки — в возрасте 9 лет. Несмотря на отсутствие статистически значимых отличий, увеличение доминирующей частоты основного ритма и распространение его на передние отделы мозга выявлено нами в возрасте 8 лет у девочек, в то время как у мальчиков — в возрасте 10 лет.

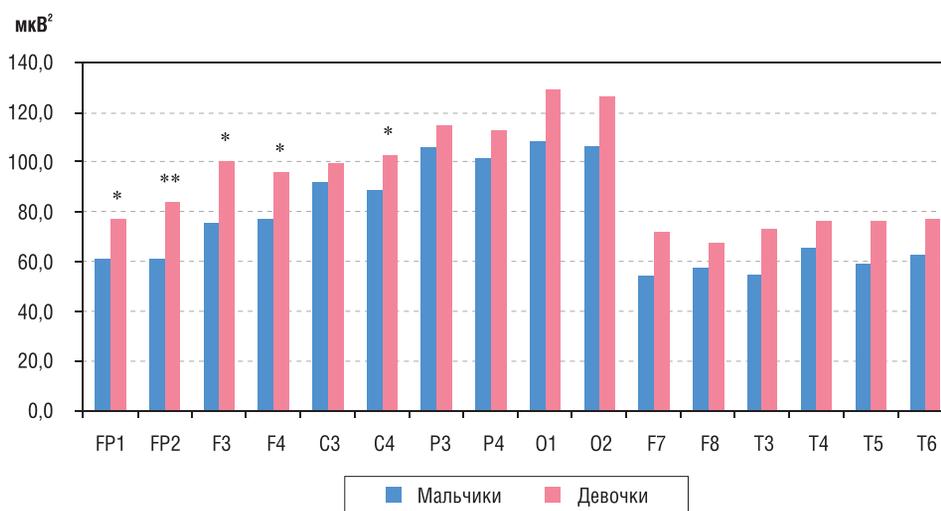
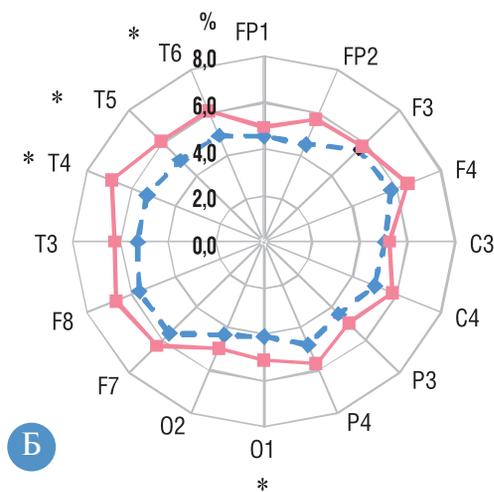
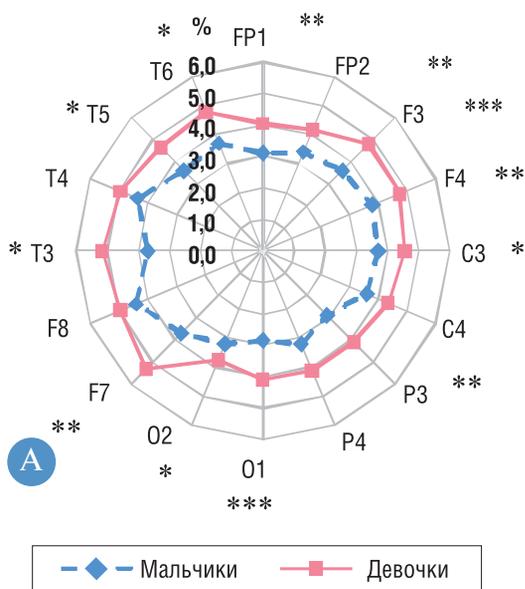


Рис. 3. Половые различия полной мощности тета-диапазона у детей 9 лет

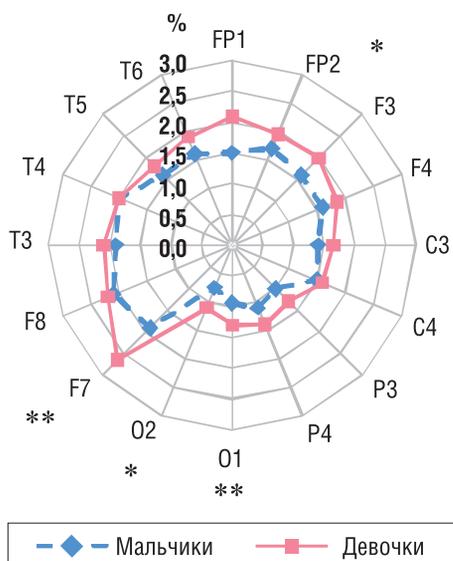
Примечание.\* —  $p < 0,05$ ; \*\* —  $p < 0,01$ .

Таблица. Изменения полной мощности альфа-ритма (мкВ<sup>2</sup>) у детей младшего школьного возраста в зависимости от пола, Ме (Q1-Q3)

Отведения	Возраст / Пол											
	8 лет				9 лет				10 лет			
	Мальчики	Девочки	p		Мальчики	Девочки	p		Мальчики	Девочки	p	
FP1	39,36 (31,71-51,39)	52,55 (43,23-77,05)	0,004		38,21 (29,67-48,99)	54,47 (39,73-76,43)	0,004		59,28 (39,54-71,27)	43,89 (28,79-56,21)	0,021	
FP2	40,72 (32,59-52,20)	49,72 (38,90-67,48)	0,047		41,66 (30,62-47,00)	59,24 (39,91-78,85)	0,003		50,66 (39,50-70,75)	39,13 (27,10-56,74)	0,061	
F3	56,51 (45,90-73,65)	67,50 (55,59-96,41)	0,023		57,71 (37,19-60,71)	68,53 (43,63-104,42)	0,040		83,10 (52,64-102,29)	61,88 (43,84-74,95)	0,018	
F4	64,06 (48,65-74,85)	69,44 (49,28-90,79)	0,190		53,23 (41,54-70,70)	71,52 (50,81-117,61)	0,028		75,69 (52,64-97,39)	59,14 (40,93-73,56)	0,064	
C3	74,51 (61,54-07,44)	86,56 (62,99-127,63)	0,249		72,26 (57,34-97,50)	84,53 (62,59-142,52)	0,145		111,46 (64,74-147,22)	81,80 (50,95-111,28)	0,038	
C4	79,76 (57,00-05,71)	79,62 (60,78-117,32)	0,654		74,02 (49,21-97,33)	89,24 (59,49-148,20)	0,017		111,19 (72,15-161,82)	79,03 (45,38-110,50)	0,054	
P3	117,95 (81,70-94,16)	124,23 (88,08-228,84)	0,444		103,59 (64,53-179,24)	129,71 (83,79-234,40)	0,289		199,92 (113,75-266,76)	127,86 (71,71-194,60)	0,088	
P4	120,98 (78,51-95,90)	119,10 (91,14-207,94)	0,763		113,52 (70,46 -165,30)	179,60 (115,28-277,25)	0,013		221,83 (113,26-288,20)	136,16 (80,77-227,03)	0,066	
O1	231,10 (133,37-347,55)	184,07 (155,66-387,75)	0,978		213,71 (117,36-376,30)	204,74 (159,52-380,65)	0,530		427,56 (188,44-606,14)	205,71 (93,60-336,91)	0,002	
O2	253,11 (141,28-473,13)	278,88 (161,29-449,41)	0,848		208,92 (122,63-363,52)	270,37 (176,78-470,42)	0,177		463,78 (257,90-551,87)	290,50 (85,98-398,63)	0,006	
F7	43,02 (29,02-57,90)	56,50 (45,69-77,47)	0,016		37,47 (26,21-50,62)	50,37 (35,06-65,29)	0,072		48,13 (34,78-75,44)	45,25 (28,90-60,92)	0,209	
F8	45,86 (34,24-52,04)	52,83 (38,49-79,24)	0,071		39,76 (31,24-57,00)	55,65 (36,62-85,08)	0,011		53,76 (37,74-73,02)	41,04 (26,26-54,37)	0,034	
T3	52,15 (33,03-63,27)	71,07 (47,58-94,48)	0,019		44,25 (31,50-52,36)	58,80 (39,41-81,55)	0,051		63,12 (44,51-99,57)	57,08 (33,53-73,56)	0,337	
T4	50,06 (34,49-79,20)	58,99 (47,38-85,81)	0,203		46,71 (35,19-66,95)	65,69 (49,58-111,05)	0,015		61,99 (40,85-92,67)	54,75 (28,61-74,34)	0,448	
T5	60,68 (39,44-89,44)	86,98 (54,10-130,32)	0,066		65,50 (43,72-86,84)	62,35 (45,31-119,21)	0,490		83,71 (48,92-119,01)	94,37 (40,54-111,74)	0,800	
T6	60,08 (45,92-99,25)	82,92 (49,07-109,32)	0,260		50,99 (35,08-89,18)	94,53 (69,54-139,23)	0,006		86,49 (57,73-142,73)	81,77 (41,16-120,97)	0,364	



**Рис. 4.** Различия индекса мощности бета1-диапазона среди девочек и мальчиков  
 Примечание. \* —  $p < 0,05$ ; \*\* —  $p < 0,01$ ; \*\*\* —  $p < 0,001$ : А — 7 лет, Б — 10 лет.



**Рис. 5.** Различия индекса мощности бета2-диапазона у мальчиков и девочек 7 лет  
 Примечание. \* —  $p < 0,05$ ; \*\* —  $p < 0,01$ .

При анализе спектральных характеристик высокочастотных колебаний нами отмечено увеличение полной мощности колебаний бета1- и бета2-диапазонов среди девочек. Несмотря на отсутствие статистически значимых отличий в данных частотных диапазонах, выявленная тенденция сохраняется среди всех изучаемых возрастов. Максимальная амплитуда колебаний бета2-диапазона имеет наибольшие значения у мальчиков 7 лет при сравнении с девочками в левой центральной ( $p=0,032$ ) и височных областях ( $p \leq 0,044$ ) обоих полушарий.

При изучении индексов мощности ритмов необходимо отметить увеличение индекса бета1-диапазона у девочек 7 и 10 лет (рис. 4): у 7-летних — в лобных ( $p < 0,008$ ) и затылочных ( $p \leq 0,026$ ) областях обоих полушарий, а также в центральной ( $p=0,046$ ), теменной ( $p=0,005$ ) и височных ( $p \leq 0,025$ ) областях левого полушария; у 10-летних — в височных ( $p \leq 0,044$ ) и левой затылочной ( $p=0,030$ ) областях.

Однако индекс мощности бета2-диапазона преобладает у девочек 7 лет в лобных ( $p < 0,044$ ) и затылочных ( $p \leq 0,018$ ) областях (рис. 5) головного мозга.

### Обсуждение

#### Резюме основного результата исследования

В ходе изучения половых различий спектральных характеристик ЭЭГ у детей младшего школьного возраста нами выявлено преобладание спектральных составляющих медленноволновой дельта- и тета-активности среди мальчиков 7 и 10 лет, а также активности тета-диапазона у девочек 9 лет. Увеличение доминирующей частоты альфа-диапазона наблюдается у девочек 7 лет в затылочных и височных областях головного мозга. Данная тенденция также выявлена у мальчиков 9 лет. Распространение основного ритма на передние отделы мозга у девочек происходит в более ранние сроки при сравнении с мальчиками. Увеличение полной мощности данного ритма наблюдается у девочек 8 и 9 лет, при этом отмечено, что в 8-летнем возрасте различия полной мощности альфа-диапазона у девочек выражены в левом полушарии ( $p \leq 0,023$ ), в то время как в возрасте 9 лет — в правом ( $p \leq 0,040$ ). У мальчиков полная мощность альфа-диапазона приобретает наибольшие значения в возрасте 10 лет. Среди высокочастотных составляющих выявлены наибольшие значения индекса бета1- и бета2-диапазонов у девочек 7 и 10 лет. Для мальчиков 7 лет характерно повышение амплитуды колебаний бета1-диапазона преимущественно в сенсомоторных областях коры.

#### Обсуждение основного результата исследования

Выявленные половые различия ЭЭГ среди мальчиков и девочек обусловлены особенностями созревания ЦНС в онтогенезе. Количественный анализ ЭЭГ позволяет выделить индикаторы морфофункционального созревания мозга. В большинстве онтогенетических ЭЭГ-исследований выявлена зависимость как выраженности, так и частоты основного ритма от степени зрелости головного мозга. Усиление выраженности колебаний альфа-диапазона в ходе индивидуального развития отражает созревание нейронного аппарата коры больших полушарий мозга. Формирование доминирующего ритма происходит в различных областях мозга в разные сроки. В затылочной области доминирующий альфа-ритм формируется раньше, чем в переднецентральных областях

[12]. Данная тенденция выявлена нами как среди мальчиков, так и среди девочек, однако увеличение доминирующей частоты альфа-диапазона в задних отделах мозга и распространение основного ритма на передние отделы мозга у девочек происходит в более ранние сроки — в возрасте 7–8 лет.

Наряду с параметрами альфа-ритма в качестве признака функциональной незрелости часто также рассматривается выраженность медленночастотных составляющих ЭЭГ [3]. Уменьшение представленности медленноволновой активности свидетельствует о развитии корково-подкорковых связей. Преобладание спектральных составляющих медленноволновой дельта- и тета-активности среди мальчиков младшего школьного возраста, а также более поздние сроки увеличения полной мощности альфа-диапазона при сравнении с девочками свидетельствуют о большей зрелости ЦНС у девочек по сравнению с мальчиками. Наши данные совпадают с результатами ряда исследований [3, 33, 36], подчеркивающих наличие различий среди мальчиков и девочек в сроках созревания.

Основные ритмы ЭЭГ — колебания тета- и альфа-диапазона — отражают работу механизмов регуляции функционального состояния корковых ансамблей нейронов. Роль лимбико-таламокортикального тета-ритма состоит в избирательной обработке значимой информации и одновременной защите процесса обработки от интерференции [37]. Таламокортикальные альфа-ритмы отражают при устойчивом внимании тормозную регуляцию процессов обработки, не релевантной текущей задаче [38]. Проявление активности тета-диапазона у девочек в возрасте 9 лет преимущественно в лобных и центральных областях, наряду с изменениями спектральных составляющих альфа-диапазона, свидетельствует о сохранении активации и увеличении метаболической активности в средней лобной области и передней поясной извилине. Именно в этом возрасте формируется модально-специфическая система интеграции корковых центров с включением лобных и центральных зон коры, и механизмы центральной организации деятельности. Причем лобным зонам коры отводится ведущая деятельность в выборе альтернатив поведения и программирования движений, формирования произвольной регуляции деятельности и избирательного внимания [12]. Лобные отделы коры осуществляют нисходящие управляющие влияния на основе взаимодействия со стволовыми и подкорковыми мозговыми системами неспецифической и избирательной модуляции активности коры. Данный период характеризуется существенными изменениями не только коркового ритмогенеза, но и функционального состояния модулирующих регуляторных систем. Незрелость фронто-таламической системы приводит к несформированности нейрофизиологических механизмов, обеспечивающих произвольную избирательную «настройку» мозговых структур при реализации когнитивной деятельности, программирования, контроля и организации деятельности, в то время как незрелость системы специфической активации приводит к изменениям познавательной деятельности ребенка [39].

Нелинейная динамика максимальной амплитуды и полной мощности дельта- и тета-ритмов у мальчиков, проявляющаяся их повышением в 7- и 10-летнем возрасте, особенно в передней лобной области, может быть обусловлена ослаблением роли фронтальных отделов в контроле и произвольной регуляции деятельности. Это свидетельствует о недостаточной сформированности ак-

тивации, направленной на оценку информационной составляющей среды, и сохранении роли непосредственной привлекательности стимула и его эмоциональной окраски. Таким образом, в возрасте 7 и 10 лет у мальчиков, а также в 9 лет у девочек происходит смена мозговых активационных компонентов деятельности. Распад сложившейся системы создает оптимальные условия для формирования новых функциональных объединений и облегчает анализ информации в коре больших полушарий [12]. Эти процессы приводят к повышению эффективности как непроизвольного, так и произвольного избирательного внимания.

Появление активности и увеличение индекса мощности бета1- и бета2-диапазонов в лобных областях у девочек 7 лет также связано с формированием оценки происходящего и принятием решений, в то время как для мальчиков младшего школьного возраста характерно повышение амплитуды колебаний бета1-диапазона, преимущественно в сенсомоторных областях коры. Усиление ритмов высокочастотных диапазонов, особенно в лобно-центральных отделах правого полушария, отражает включенность этих зон в организацию движения при освоении графического навыка письма [12].

Межполушарная асимметрия ритмов ЭЭГ у девочек 8 и 9 лет, особенно ярко представленная в колебаниях альфа-диапазона, демонстрирует определенную реципрокность отношений между полушариями в данных возрастных периодах. Выявленные межполушарные различия могут быть связаны установлением внутрикорковых связей у девочек в левом полушарии в возрасте 8 лет и в правом полушарии в возрасте 9 лет, что отражает процессы функциональной дифференциации ранее интегрированных подсистем. С другой стороны, вовлечение правой лобной доли, правой теменной доли и структур ретикулярной формации ствола мозга у девочек 9 лет может быть связано с поддержанием активного состояния внимания при формировании произвольной регуляции деятельности. Таким образом, выявленные половые различия спектральных составляющих ЭЭГ у детей младшего школьного возраста обусловлены структурно-функциональными изменениями, происходящими в ходе онтогенеза в ЦНС, проявляющимися как особенностями созревания головного мозга, так и особыми темпами развития мальчиков и девочек.

## Заключение

Таким образом, закономерности формирования ЭЭГ имеют половую специфичность. Половые различия ЭЭГ у детей младшего школьного возраста проявляются в преобладании дельта-активности у мальчиков 7 и 10 лет и преобладании мощности тета-диапазона у девочек 9 лет. Нелинейный характер онтогенетических изменений спектральных характеристик ЭЭГ у детей обоего пола свидетельствует о наличии критических периодов развития. Так, возраст 9 лет у девочек, а также 7 и 10 лет у мальчиков является активным периодом реорганизации связей между подкорковыми структурами и корой головного мозга и характеризуется существенными изменениями функционального состояния модулирующих регуляторных систем для формирования основных нейрофизиологических механизмов организации высших психических функций, что отражается на развитии познавательной деятельности в целом. Увеличение до-

минирующей частоты альфа-диапазона в задних отделах мозга наблюдается у девочек в 7-летнем возрасте, а у мальчиков — в возрасте 9 лет. Распространение основного ритма на передние отделы мозга у девочек также происходит в более ранние сроки. Кроме этого, динамика спектральных характеристик альфа-диапазона, а также индекса мощности высокочастотных бета-диапазонов свидетельствует о более раннем созревании ЦНС у девочек младшего школьного возраста при сравнении с мальчиками.

### Источник финансирования

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 14-04-98821 (2014–2015 гг.).

### Конфликт интересов

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

### ЛИТЕРАТУРА

1. Фарбер Д.А., Дубровинская Н.В. Функциональная организация развивающегося мозга (возрастные особенности и некоторые закономерности) // *Физиология человека*. — 1999. — Т.17. — №5. — С.17–27. [Farber DA, Dubrovinskaya NV. Funktsional'naya organizatsiya razvivayushchegosya mozga (vozrastnye osobennosti i nekotorye zakonomernosti). *Fiziologiya cheloveka*. 1999;17(5):17–27. (In Russ).]
2. Цицерошин М.Н. Отражение системной деятельности мозга в пространственной структуре ЭЭГ у взрослых и детей. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. — СПб.; 1997. 37 с. [Tsiteroshin MN. *Otrazhenie sistemnoi deyatel'nosti mozga v prostranstvennoi strukture EEG u vzroslykh i detei*. [dissertation] St. Petersburg; 1997. 37 p. (In Russ).]
3. Горбачевская Н.Л. Особенности формирования ЭЭГ у детей в норме и при разных типах общих (первазивных) расстройств развития. Дис. ... докт. биол. наук. — М.; 2000. 43 с. [Gorbachevskaya NL. *Osobennosti formirovaniya EEG u detei v norme i pri raznykh tipakh obshchikh (pervazivnykh) rasstroystv razvitiya*. [dissertation] Moscow; 2000. 43 p. (In Russ).]
4. Сергеева Е.Г. Возрастные особенности функционального развития мозга у школьников, проживающих в условиях Европейского Севера. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — СПб.; 2009. 21 с. [Sergeeva EG. *Vozrastnye osobennosti funktsional'nogo razvitiya mozga u shkol'nikov, prozhivayushchikh v usloviyakh Evropeiskogo Severa*. [dissertation] St. Petersburg; 2009. 21 p. (In Russ).]
5. Сороко С.И., Бекшаев С.С., Рожков В.П. ЭЭГ корреляты генотипических особенностей возрастного развития мозга у детей аборигенного и пришлого населения Северо-Востока России // *Российский физиологический журнал имени И.М. Сеченова*. — 2012. — Т. 98. — №1. — С. 3–26. [Soroko SI, Bekshaev SS, Rozhkov VP. EEG correlates of geno-phenotypical features of the brain development in children of the native and newcomers' population of the Russian North-East. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal imeni I.M. Sechenova*. 2012;98(1):3–26. (In Russ).]
6. Clarke AR, Barry RJ, McCarthy R, et al. Age and sex effects in the EEG: development of the normal child. *Clin Neurophysiol*. 2001;112(5):806–814. doi: 10.1016/s1388-2457(01)00488-6.
7. Терещенко Е.П., Пономарев В.А., Мюллер А., Кропотов Ю.Д. Нормативные значения спектральных характеристик ЭЭГ здоровых испытуемых от 7 до 89 лет // *Физиология человека*. — 2010. — Т. 36. — №1. — С. 5–17. [Tereshchenko EP, Ponomarev VA, Myuller A, Kropotov YD. Normative EEG spectral characteristics in healthy subjects aged 7 to 89 years. *Fiziologiya cheloveka*. 2010;36(1):5–17. (In Russ).]
8. Fonseca LC, Tedrus G, Martins SM, et al. Quantitative electroencephalography in healthy school age children: analysis of band power. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*. 2003;61(3B):796–801. doi: 10.1590/s0004-282x2003000500018.
9. Королева Н.В., Колесников С.И., Долгих В.В. Динамика электроэнцефалографических показателей у детей с различными типами ЭЭГ // *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра СО РАМН*. — 2007. — Т.2. — №54. — С. 49–51. [Koroleva NV, Kolesnikov SI, Dolgikh VV. Dynamics of electroencephalography indices in children with different EEG types. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra SO RAMN*. 2007;2(54):49–51. (In Russ).]
10. Chiang AKI, Rennie CJ, Robinson PA, et al. Age trends and sex differences of alpha rhythms including split alpha peaks. *Clin Neurophysiol*. 2011;122(8):1505–1517. doi: 10.1016/j.clinph.2011.01.040.
11. Вильдавский В.Ю. Спектральные компоненты ЭЭГ и их функциональная роль в системной организации пространственно-гностической деятельности детей школьного возраста. Автореф. дис. ...канд. биол. наук. — М.; 1996. 25 с. [Vil'davskii VY. *Spektral'nye komponenty EEG i ikh funktsional'naya rol' v sistemnoi organizatsii prostranstvenno-gnosticheskoi deyatel'nosti detei shkol'nogo vozrasta*. [dissertation] Moscow; 1996. 25 p. (In Russ).]
12. Развитие мозга и формирование познавательной деятельности ребенка / Под ред. Фарбера Д.А., Безруких М.М. — М.: Изд-во МПСИ; Воронеж: Изд-во МОДЕК; 2009. 432 с. [Razvitiye mozga i formirovanie poznatel'noi deyatel'nosti rebenka. Ed by Farbera D.A., Bezrukikh M.M. Moscow: Izd-vo MPSI; Voronezh: Izd-vo MODEK; 2009. 432 p. (In Russ).]
13. Фефилов А.В. Возрастные особенности частотно-специфических характеристик ЭЭГ. Дис. ... канд. психол. наук. — М.; 2003. 206 с. [Fefilov AV. *Vozrastnye osobennosti chastotno-spetsificheskikh kharakteristik EEG*. [dissertation] Moscow; 2003. 206 p. (In Russ).]
14. Gasser T, Jennen-Steinmetz C, Sroka L, et al. Development of the EEG of school-age children and adolescents II. Topography. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1988;69(2):100–109. doi: 10.1016/0013-4694(88)90205-2.
15. Ritter BC, Perrig W, Steinlin M, Everts R. Cognitive and behavioral aspects of executive functions in children born very preterm. *Child Neuropsychol*. 2013;20(2):129–144. doi: 10.1080/09297049.2013.773968.
16. Dykiert D, Der G, Starr JM, Deary IJ. Sex differences in reaction time mean and intraindividual variability across the life span. *Dev Psychol*. 2012;48(5):1262–1276. doi: 10.1037/a0027550.
17. Flatters I, Hill LJB, Williams JHG, et al. Manual control age and sex differences in 4 to 11 year old children. *Plos One*. 2014;9(2):e88692. doi: 10.1371/journal.pone.0088692.
18. Schaadt G, Hesse V, Friederici AD. Sex hormones in early infancy seem to predict aspects of later language development. *Brain and Lang*. 2015;141:70–76. doi: 10.1016/j.bandl.2014.11.015.
19. Eriksson M, Marschik PB, Tulviste T, et al. Differences between girls and boys in emerging language skills: Evidence from 10 language communities. *Br J Dev Psychol*. 2012;30(2):326–343. doi: 10.1111/j.2044-835X.2011.02042.x.
20. Lust JM, Geuze RH, Van de Beek C, et al. Sex specific effect of prenatal testosterone on language lateralization in children. *Neuropsychologia*. 2010;48(2):536–540. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2009.10.014.
21. Щербаков Е.П., Ветренко С.В. Восприятие информации у девочек и мальчиков 5–10 лет в зависимости от ведущего

- полушария // *Омский научный вестник*. – 2007. – Т.4. – №58. – С. 121–124. [Shcherbakov EP, Vetrenko SV. 5-10 year-old boys and girls' perception of information according to the leading cerebral hemispheres. *Omskii nauchnyi vestnik*. 2007;4(58):121–124. (In Russ).]
22. García BMI, Tello HFP, Abad VE, et al. Attitudes, learning experience and performance in mathematics: gender differences. *Psicothema*. 2007;19(3):413–421.
  23. Уразаев К.Ф., Уразаева Ф.Х., Сайфутдинова И.Ф., Кисленко О.В. Половые различия латерализации мозга младших школьников // *Успехи современного естествознания*. – 2007. – №9. – С. 64–65. [Urazaev KF, Urazaeva FK, Saifutdinova IF, Kislenco OV. Polovye razlichiya lateralizatsii mozga mladshikh shkol'nikov. *Uspexi sovremennoego estestvoznaniya*. 2007;9:64–65. (In Russ).]
  24. Hu S, Pruessner JC, Coupe P. Volumetric analysis of medial temporal lobe structures in brain development from childhood to adolescence. *Neuroimage*. 2013;74:276–287. doi: 10.1016/j.neuroimage.2013.02.032.
  25. Schmithorst VJ, Yuan W. White matter development during adolescence as shown by diffusion MRI. *Brain Cogn*. 2010;72(1):16–25. doi: 10.1016/j.bandc.2009.06.005.
  26. Clayden JD, Jentschke S, Munoz M, et al. Normative development of white matter tracts: similarities and differences in relation to age, gender, and intelligence. *Cereb Cortex*. 2012;22(8):1738–1747. doi: 10.1093/cercor/bhr243.
  27. Kumar R, Nguyen HD, Macey PM, et al. Regional brain axial and radial diffusivity changes during development. *J Neurosci Res*. 2012;90(2):346–355. doi: 10.1002/jnr.22757.
  28. Guo XJ, Jin Z, Chen K, et al. Gender differences in brain development in Chinese children and adolescents: a structural MRI study. *Medical Imaging. 2008: physiology, function, and structure from medical image*. 2008;6916:A9160. doi: 10.1117/12.770299.
  29. Uematsu A, Matsui M, Tanaka C, et al. Developmental trajectories of amygdala and hippocampus from infancy to early adulthood in healthy individuals. *Plos One*. 2012;7(10):e46970. doi: 10.1371/journal.pone.0046970.
  30. Tanaka-Arakawa MM, Matsui M, Tanaka C, et al. Developmental changes in the corpus callosum from infancy to early adulthood: a structural magnetic resonance imaging study. *Plos One*. 2015;10(3):e0118760. doi: 10.1371/journal.pone.0118760.
  31. Cragg L, Kovacevic N, McIntosh AR, et al. Maturation of EEG power spectra in early adolescence: a longitudinal study. *Developmental Science*. 2011;14(5):935–943. doi: 10.1111/j.1467-7687.2010.01031.x.
  32. Benninger C, Matthis P, Scheffner D. EEG development of healthy boys and girls. Results of a longitudinal study. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1984;57(1):1–12. doi: 10.1016/0013-4694(84)90002-6.
  33. Сороко С.И., Бекшаев С.С., Рожков В.П., и др. Общие закономерности формирования волновой структуры паттерна ЭЭГ у детей и подростков, проживающих в условиях Европейского Севера // *Физиология человека*. – 2015. – Т. 41. – №4. – С. 1–11. [Soroko SI, Bekshaev SS, Rozhkov VP, et al. General features of the formation of EEG wave structure in children and adolescents living in Northern European Russia. *Fiziologiya cheloveka*. 2015;41(4):1–11. (In Russ).]
  34. Койчубеков Б.К., Сорокина М.А., Мхитарян К.Э. Определение размера выборки при планировании научного исследования // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2014. – №4. – С. 71–74. [Koichubekov BK, Sorokina MA, Mkhitaryan KE. Sample size determination in planning of scientific research. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2014;4:71–74. (In Russ).]
  35. Бюллетень Федеральной службы государственной статистики: Численность населения Российской Федерации по полу и возрасту на 1 января 2014 года. [Byulleten' Federal'noi sluzhby gosudarstvennoi statistiki: Chislennost' naseleniya Rossiiskoi Federatsii po polu i vozrastu na 1 yanvarya 2014 goda. (In Russ).] Доступно по: [http://www.gks.ru/bgd/regl/b14\\_111/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/b14_111/Main.htm) Ссылка активна на 12.01.2016.
  36. Gmehlin D, Thomas C, Weisbrod M, et al. Individual analysis of EEG background-activity within school age: impact of age and sex within a longitudinal data set. *Int J Dev Neurosci*. 2011;29(2):163–170. doi: 10.1016/j.ijdevneu.2010.11.005.
  37. Vinogradova OS, Kitchigina VF, Zenchenko CI. Pacemaker neurons of the forebrain medial septal area and theta rhythm of the hippocampus. *Membr Cell Biol*. 1998;11(6):715.
  38. Suffczynski P, Kalitzin S, Pfurtscheller G, et al. Computational model of thalamo-cortical networks: dynamical control of alpha rhythms in relation to focal attention. *Int J Psychophysiol*. 2001;43(1):25–40. doi: 10.1016/s0167-8760(01)00177-5.
  39. Безруких М.М., Мачинская Р.И., Фарбер Д.А. Структурно-функциональная организация развивающегося мозга и формирование познавательной деятельности в онтогенезе ребенка // *Физиология человека*. – 2009. – Т. 35. – №6. – С. 10–24. [Bezrukikh MM, Machinskaya RI, Farber DA. Structural and functional organization of a developing brain and formation of cognitive functions in child ontogeny. *Fiziologiya cheloveka*. 2009;35(6):10–24. (In Russ).]

#### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Грибанов Анатолий Владимирович**, доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, директор Института медико-биологических исследований САФУ имени М.В. Ломоносова

**Адрес:** 163045, Архангельск, проезд Бадигина, д. 3, **тел.:** +7 (8182) 24-09-06, **e-mail:** a.gribanov@narfu.ru

**Джос Юлия Сергеевна**, кандидат медицинских наук, заместитель директора по научной работе Института медико-биологических исследований САФУ имени М.В. Ломоносова

**Адрес:** 163045, Архангельск, проезд Бадигина, д. 3, **тел.:** +7 (8182) 24-09-06, **e-mail:** u.jos@narfu.ru