

БИОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГОЛОВНОГО МОЗГА У ДЕТЕЙ В СОСТОЯНИИ АКТИВНОГО БОДРСТВОВАНИЯ С ОТКРЫТЫМИ ГЛАЗАМИ

Войтенков В. Б.^{1,2}, Пальчик А. Б.^{3,4}, Савельева Н. А.⁵,
Богданова Е. П.⁶

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение «Детский научно-клинический центр инфекционных болезней Федерального медико-биологического агентства», Санкт-Петербург, Россия

²Академия постдипломного образования, ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, Москва, Россия

³Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

⁴Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

⁵Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е. А. Вагнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Пермь, Россия

⁶Клиника «Источник» (ООО «ПолиКлиника»), Челябинск, Россия

Контактная информация:

Войтенков Владислав Борисович,
ФГБУ ДНКЦИБ ФМБА России,
ул. профессора Попова, д. 9, Санкт-Петербург, Россия, 197022.
E-mail: vlad203@inbox.ru

Статья поступила в редакцию
14.07.2021 и принята к печати 19.10.2021.

Резюме

Актуальность. Электроэнцефалография (ЭЭГ) является основной методикой оценки функционального состояния головного мозга. Показаниями к ЭЭГ являются диагностика пароксизмальных состояний, прогнозирование исхода патологического состояния, оценка биоэлектрической активности при наличии подозрения на смерть мозга. До 90 % нативной ЭЭГ в условиях спокойного бодрствования у здоровых лиц занимает «альфа-активность». У детей в состоянии активного бодрствования паттерн ЭЭГ в значительной степени зависит от их возраста. **Целью работы** явилась оценка электроэнцефалографии детей в возрасте 3–4 лет в состоянии активного бодрствования с открытыми глазами. **Материалы и методы.** У 31 здорового ребенка в возрасте 3–4 года ЭЭГ проводилась 30 минут в состоянии пассивного бодрствования лежа с открытыми глазами согласно системе 10-20 и 10-10. Рассчитаны средние значения мощности спектров для альфа-дельта- и тета-ритма, дельта- и тета-ритма, соотношение средней мощности спектров альфа/тета и альфа/дельта в лобных и височных отведениях. **Результаты.** У детей наблюдался следующий паттерн БЭА: суммарная средняя мощность альфа-ритма была достоверно выше над FР2-А2 и F4-А2, чем над правой фронто-темпоральной областью. Значение средней амплитуды альфа-ритма было достоверно выше в F3-А1, чем F7-А1, в F4-А2, чем F8-А2, что ассоциируется с активностью премоторной области, ответственной за артикуляционный праксис. Средняя мощность

альфа-ритма была выше в Т5-А1, чем Т3-А1, и Т6-А2, чем Т4-А2, что соответствует активности задне-височных отделов, которые обеспечивают узнавание предметов оптически. **Заключение.** Выявленные паттерны могут отражать характерные для состояния активного бодрствования у ребенка 3–4 лет особенности биоэлектрической активности (БЭА) и применяться для сравнения в дальнейшем (как в ходе поведенческих экспериментов, так и наблюдения за пациентами с патологическими процессами).

Ключевые слова: альфа-ритм, дельта-ритм, тета-ритм, дети, количественная электроэнцефалограмма, норма.

Для цитирования: Войтенков В.Б., Пальчик А.Б., Савельева Н.А. и др. Биоэлектрическая активность головного мозга у детей в состоянии активного бодрствования с открытыми глазами. Трансляционная медицина. 2021;8(4):46-55. DOI: 10.18705/2311-4495-2021-8-4-46-55

BIOELECTRIC ACTIVITY OF THE BRAIN IN 3–4 YEARS OLD CHILDREN IN EYES-OPEN RESTING STATE

Voitenkov V. B.^{1,2}, Palchick A. B.^{3,4}, Savelieva N. A.⁵, Bogdanova E. P.⁶

¹Pediatric research center for infectious diseases, Saint Petersburg, Russia

²Academy of Postgraduate Education of Federal Scientific Research Center of the Federal Medical and Biological Agency, Moscow, Russia

³Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia

⁴St Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

⁵FSBEI HE Perm State Medical University named after E. A. Wagner of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Perm, Russia

⁶Istochnik medical center, Chelyabinsk, Russia

Corresponding author:

Voitenkov Vladislav B.,
Pediatric Research and Clinical Center for
Infectious Diseases,
st. Professor Popov, 9, St. Petersburg, Russia,
197022.
E-mail: vlad203@inbox.ru

Received 14 July 2021; accepted 19 October 2021.

Abstract

Background. Electroencephalography is the main technique for assessing the functional state of the brain. Indications for EEG are diagnosis of paroxysmal states, prediction of the outcome of a pathological state, evaluation of bioelectrical activity if brain death is suspected. Up to 90 % of the native EEG in calm wakefulness in healthy individuals is occupied by “alpha activity”. In children in active wakefulness, the EEG pattern depends to a great extent on their age. **Objective.** The aim of the work was to assess EEG parameters in children aged 3–4 years in eyes-open resting state. **Design and methods.** 31 healthy participants aged 3–4 years were enrolled. EEG was registered for 30 minutes in a state of passive wakefulness in the supine position with open eyes. Average values of the power of the spectra for the alpha-rhythm, delta-rhythm and theta-rhythm in the frontal and temporal leads, as well as the ratio of the average power of alpha/theta and alpha/delta rhythms in the frontal and temporal leads were calculated. **Results.** Average power of the alpha-rhythm was significantly higher over the right frontal lobe than over the right frontal-temporal area, as well as average amplitude of it was significantly higher in F3-A1 than F7-A1, F4-A2 than F8-A2, which is associated with the articulatory praxis. Average alpha-rhythm power was significantly higher in T5-A1 than T3-A1 and T6-A2 than T4-A2, which corresponds to the recognition and naming of objects optically. Significant differences according to the total average power of the alpha- and theta-rhythms above the frontal and frontal-temporal regions reflect the relationship between the frontal cortex temporal lobes and the premotor zones, i.e. arcuate bundle, responsible for the “speech system”. **Conclusion.** The identified patterns can reflect the characteristics of the state of active wakefulness in a

3–4-year-old child and can be used for comparison in the future (both in the course of behavioral experiments and observation of patients with certain pathological processes).

Key words: eyes-open resting state, healthy children, quantitative EEG, alpha-rhythm, delta-rhythm, theta-rhythm.

For citation: Voitenkov VB, Palchick AB, Savelieva NA, et al. Bioelectric activity of the brain in 3-4 years old children in eyes-open resting state. Translational Medicine. 2021;8(4):46-55. (In Russ.) DOI: 10.18705/2311-4495-2021-8-4-46-55

Введение

Электроэнцефалография (ЭЭГ) является одной из основных методик оценки функционального состояния головного мозга, которую применяют при невозможности клинической оценки, в частности у пациентов с энцефалопатией, комами различного генеза [1]. Показаниями к ЭЭГ является диагностика пароксизмальных состояний, прогнозирование исхода патологического состояния, оценка биоэлектрической активности при наличии подозрения на смерть мозга и пр. [2]. До 90 % нативной ЭЭГ в условиях спокойного бодрствования у здоровых лиц занимает активность частотой до 10 Гц, высотой 40–80 мкВ, именуемая «альфа-ритм», либо «альфа-активность» [3]. У детей в состоянии активного бодрствования паттерн ЭЭГ в значительной степени зависит от их возраста [3, 4]. W. N. Kuhlman (1980) предлагает для описания частотной характеристики ЭЭГ младенца пользоваться принципом «функциональной топографии». В соответствии с этим принципом частотные компоненты ЭЭГ анализируют на основании 3 критериев:

- 1) частота ритмического компонента;
- 2) пространственное расположение максимума ритмического компонента в различных зонах коры головного мозга;
- 3) реактивность ЭЭГ к функциональным нагрузкам [5].

В соответствии с этими критериями можно выделить 3 наиболее важных спектральных пространственных компонента [6, 7]:

- 1) ритмический компонент с частотой 6–9 Гц в прецентральных областях коры головного мозга (соответствует μ -ритму), отражающий селективное торможение притока сенсомоторной импульсации к коре головного мозга;
- 2) ритмический компонент с частотой 4–6 Гц во всех областях коры с максимумом в ассоциативных областях, резко возрастающий при позитивных эмоциях (соответствует тета-ритму);
- 3) ритмический компонент с частотой 6–7 Гц только в затылочных отведениях со снижением

спектральной мощности в состоянии зрительного внимания (соответствует альфа-ритму).

В классической работе F. J. Schulte и E. F. Bell [8] показана эволюция биоэлектрической активности мозга детей от 34 нед. гестации до 4 лет. Авторы пришли к заключению, что основными особенностями эволюции ЭЭГ в первые годы жизни ребенка являются: относительное снижение частотного спектра менее 5 Гц в последние недели перед рождением; появление сонных «веретен» с частотой колебаний 12–14 Гц и высокой межполушарной когерентностью приблизительно через 10 нед. после рождения с максимумом их выявляемости в 6–8 мес. жизни и последующим уменьшением; появление гипнагогических тета-волн с высокой межполушарной когерентностью к году жизни.

В ряде работ было продемонстрировано, что к 3–4 мес. жизни формируются колебания частотой 3–4 Гц, которые исследователи рассматривали как предшественников альфа-ритма. В известном исследовании O. Eeg-Olofsson [9] показана частотная эволюция альфа-ритма в зависимости от возраста, где альфа-активность колеблется в диапазоне от 7 до 9,5 (в среднем 8,5) Гц у детей первого года жизни до 8–11 (в среднем 9,5) Гц у подростков 16 лет.

Л. А. Новикова [10] описывает частоту доминирующей активности ЭЭГ у детей различных возрастов: 3 мес. — 4,7 Гц; 9 мес. — 5,5 Гц; 12 мес. — 6,0 Гц; 2 года — 7,0 Гц; 4 года — 7,8 Гц; 6 лет — 8,2 Гц; 10 лет — 10,2 Гц.

Визуальный анализ ЭЭГ в настоящее время как в клинической практике, так и в фундаментальных исследованиях дополняется данными количественного анализа ЭЭГ. Если во взрослой практике эти данные уже хорошо изучены, в педиатрии имеются малоисследованные, но перспективные области. Известно, что флюктуации основных ритмов отражают активно текущие процессы даже при так называемом состоянии «ничего неделания» — «отдыхающий мозг никогда не отдыхает» [11]. С возрастом у здоровых лиц от 10 до 30 лет наблюдается снижение мощности

медленноволновой активности [12]. У еще более молодых здоровых людей (дети от 7 до 11 лет) также показано общее снижение мощности медленноволновой активности с возрастом [13]. В других сравнительных работах оценивались параметры количественной ЭЭГ у детей 6 лет [14]. Известно, что различия в мощности альфа-активности между слепыми и зрячими детьми становятся достоверными в возрасте 3–6 лет [15]. Таким образом, этот возраст (младшие дошкольники) отличается особой, отличной от прочих возрастных групп, организацией биоэлектрической активности (БЭА). Также известно, что наиболее сильные изменения БЭА со временем регистрируются у детей во фронто-центральных отведениях [16].

3–4 года корреktированного возраста являются своеобразным этапом в развитии ребенка — периодом перехода из периода младенчества в дошкольный возраст. Для этого этапа характерно формирование конкретных моторных навыков: полный поворот туловища в положении сидя и стоя; сохранение равновесия без рук на толчок в положении сидя и стоя; посадка из положения лежа на спине без подъема ног; подъем из положения лежа без помощи и поворота; хороший и быстрый бег; хорошее вращение бедер и голени при общем вращении; щипцовый захват двух предметов с адекватными движениями пальцев без дискинезий и тремора и адекватной координацией в плечах [17]. В речевом развитии отмечаются значимые процессы флексии и сверхрегуляризации [18]. Рассматриваемый период является критическим в поведении ребенка как в классической психоаналитической трактовке, так и в рамках концепции возрастных кризисов Блонского–Выготского. Основным содержанием этого периода являются негативизм, упрямство и строптивость. Наряду с негативными моментами этого возрастного кризиса, необходимо отметить и позитивные, а именно формирование новых черт личности [19–21]. Во временном отношении указанные выше процессы «рифмуются» с синаптическим pruning и уменьшением доминирования тета- и дельта-сна [22]. Таким образом, дети в возрасте 3–4 лет находятся на одном из критически важных этапов своего развития; интерес представляет набор нормативных данных по параметрам количественной ЭЭГ у лиц этой возрастной группы.

Даже публикации с очень большой выборкой здоровых детей [23] собирали данные по организации БЭА у детей 7–11 лет; набор нормативных данных ЭЭГ по детям 3–4 лет по мощности и соотношениям основных ритмов, таким образом, является актуальным для дальнейшего исследования.

Материалы и методы

В исследование были включены дети (31) в возрасте от 3 до 4 лет, здоровые на момент исследования. Регистрация ЭЭГ проводилась в течение 30 минут в состоянии пассивного бодрствования в положении лежа с открытыми глазами в полосе 0,5–70 Гц с помощью энцефалографа «Нейрон-Спектр-5» (ООО «Нейрософт», г. Иваново) согласно Международной системе 10-20 и Международной системе 10-10. В соответствии с последним, участники были разделены на две группы: группа 10-10 (20) и группа 10-20 (11). В качестве референтного электрода использовался ушной электрод. Сопротивление электродов не превышало 10 кОм. Запись биоэлектрической активности головного мозга производилась с использованием 32 электродов + референтные), при статистической обработке изменения были выявлены именно в лобно-височных отведениях, поэтому они были интерпретированы. Регистрация ЭЭГ с открытыми глазами у детей допускается в связи с возрастными особенностями. Погрешность изменений амплитуды ритмов при когерентном анализе при открытых глазах минимальна в сравнении с закрытыми глазами [24].

Обработка данных количественной ЭЭГ была произведена в программе «Нейрон-Спектр», версия 1.6.4.3. Для анализа были выбраны 40 эпох электроэнцефалограммы в каждом исследовании. Были рассчитаны средние значения мощности спектров для альфа-ритма, тета-ритма и дельта-ритма в лобных и височных отведениях, а также соотношение средней мощности спектров альфа/тета-ритмов и альфа/дельта-ритмов в лобных и височных отведениях. В группе 10-10 были рассчитаны средние значения амплитуды спектров в лобных и височных отведениях.

Статистический анализ данных

Статистический анализ данных был выполнен в программе Jamovi 1.6.23 solid. Все данные статистического анализа представлены в таблицах 1, 2. Для описания количественных параметров были использованы методы дескриптивной статистики. Сравнительный анализ количественных данных осуществлялся с применением t-критерия Стьюдента. Проводилось сравнение показателей количественной ЭЭГ в гомологичных отведениях и между соседними отведениями. В группе 10-10 было проведено сравнение суммарной средней мощности спектров над участками лобных и височных долей правого и левого полушарий и внутри каждого полушария.

Таблица 1. Средние значения параметров для группы 10-20

	FP1-A1	FP2-A2	F3-A1	F4-A2	FZ-A1	F7-A1	F8-A2	T3-A1	T4-A2	T5-A1	T6-A2
Средняя мощность альфа-ритма	2,06 ± 0,518	2,10 ± 0,591	2,39 ± 0,470	2,61 ± 0,544	NaN	1,40 ± 0,308	1,42 ± 0,560	1,25 ± 0,318	1,60 ± 0,373	3,39 ± 0,909	3,22 ± 0,582
Средняя мощность дельта-ритма	55,7 ± 25,6	48,8 ± 17,9	44,9 ± 12,3	46,2 ± 14,2	NaN	32,4 ± 15,1	31,0 ± 19,1	24,9 ± 9,80	30,4 ± 16,3	50,4 ± 20,4	43,8 ± 13,1
Средняя мощность тета-ритма	10,9 ± 3,31	9,51 ± 2,93	9,27 ± 1,81	10,6 ± 2,86	NaN	3,71 ± 1,01	4,69 ± 1,41	3,93 ± 1,03	4,78 ± 1,30	8,48 ± 2,14	7,85 ± 1,21
Соотношение средней мощности альфа-/дельта-ритмов	0,0360 ± 0,0146	0,0402 ± 0,0135	0,0539 ± 0,0207	0,0583 ± 0,0109	NaN	0,0473 ± 0,0203	0,0477 ± 0,0146	0,0535 ± 0,0162	0,0604 ± 0,0128	0,0574 ± 0,00899	0,0630 ± 0,0157
Соотношение средней мощности альфа-/тета-ритмов	0,206 ± 0,0555	0,246 ± 0,0537	0,286 ± 0,0789	0,307 ± 0,0805	NaN	0,295 ± 0,0872	0,317 ± 0,130	0,364 ± 0,0803	0,384 ± 0,111	0,363 ± 0,124	0,458 ± 0,107

Таблица 2. Распределение активности областей коры лобных и височных долей в состоянии пассивного бодрствования с учетом достоверных различий средней мощности спектров

	Область коры большого мозга	Средняя мощность спектров в лобных и височных отведениях		
		АЛЬФА-ритм	ТЕТА-ритм	ДЕЛЬТА-ритм
Левое полушарие	Полюс лобной доли (Fp1)			
	Лобная область (F3)			
	Фронтотемпоральная область (F7)			
	Фронтотемпоральная область (FT7)			
	Средневисочная область (T3)			
	Задневисочная область (T5)			
Правое полушарие	Полюс лобной доли (Fp2)			
	Лобная область (F4)			
	Фронтотемпоральная область (F8)			
	Фронтотемпоральная область (FT8)			
	Средневисочная область (T4)			
	Задневисочная область (T6)			

Примечания: Где Fp1, Fp2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, FT7, FT8, T3, T5, T4, T6 — отведения ЭЭГ по Международной системе 10-20 и 10-10. Цвета (оранжевый, синий, зеленый) выбраны произвольно. С помощью градации тонов от более светлых к более темным в таблице показаны достоверные различия мощности спектров в отведениях от коры, где более светлый тон — область коры с достоверно меньшей мощностью, более темный тон — с достоверно большей мощностью.

Результаты

При сравнении данных количественной ЭЭГ в гомологичных отведениях лобных и височных долей правого и левого полушарий значение средней амплитуды альфа-ритма было достоверно выше в отведении Fp2-A2 в сравнении с отведением Fp1-A1 ($p < 0,001$), значение средней амплитуды тета-ритма было достоверно выше в отведении FT7-A1 по сравнению с FT8-A2 ($p = 0,001$) (табл. 1 и 3).

При сравнительной оценке средних амплитуд спектров между соседними отведениями лобных и височных долей правого и левого полушарий значение средней амплитуды альфа-ритма было достоверно выше в отведении F3-A1 по отношению к F7-A1 ($p = 0,003$), в отведении T5-A1 в сравнении с T3-A1 ($p < 0,001$), в отведении F4-A2 в сравнении с F8-A2 ($p = 0,004$), в T6-A2 по отношению к T4-A2 ($p < 0,01$). Значения средней амплитуды дельта-ритма были достоверно выше в F4-A2, чем в F8-A2 ($p < 0,01$), в FT8-A2, по отношению к F8-A2 ($p = 0,003$), в T6-A2, в сравнении с T4-A2 ($p < 0,001$). Значения средней амплитуды тета-ритма были достоверно выше в F3-A1, чем F7-A1 ($p = 0,004$), в F4-A2, в сравнении с F8-A2 ($p < 0,001$), в FT7-A1, чем в T3-A1 ($p = 0,001$), в FT7-A1, по отношению к F7-A1 ($p = 0,002$), в T6-A2 по сравнению с T4-A2 ($p < 0,001$).

При сравнительной оценке средних мощностей спектров между гомологичными лобными и височными отведениями в группе 10-10 средняя мощность тета-ритма была достоверно выше в отведении FT7-A1 в сравнении с FT8-A2 ($p = 0,001$).

При сравнительной оценке средних мощностей спектров между соседними лобными и височными отведениями правого и левого полушарий в группе 10-10 и в группе 10-20 средняя мощность альфа-ритма была достоверно выше в отведении F3-A1 в сравнении с F7-A1 ($p < 0,005$, $p < 0,001$), в F4-A2 относительно F8-A2 ($p < 0,001$, $p < 0,001$), в T5-A1, чем в T3-A1 ($p < 0,001$, $p < 0,001$), в T6-A2 по отношению к T4-A2 ($p < 0,001$, $p < 0,001$). Средняя мощность дельта-ритма была достоверно ниже в отведении T3-A1 в сравнении с отведением T5-A1 в группе 10-20 ($p < 0,001$). Средняя мощность тета-ритма была достоверно выше в отведении F3-A1 в сравнении с F7-A1 ($p < 0,001$, $p < 0,001$), в F4-A2 по отношению к F8-A2 ($p < 0,001$, $p < 0,001$), в T6-A2, чем в T4-A2 ($p < 0,001$, $p < 0,001$), в FT7-A1, чем в F7-A1 ($p < 0,001$), в FT7-A1 в сравнении с T3-A1 ($p < 0,001$) в группе 10-10 и в группе 10-20; в отведении T5-A1 по отношению к T3-A1 в группе 10-20 ($p < 0,001$), в отведении F4-A2 по сравнению с FT8-A2 ($p < 0,001$) в группе 10-10.

Соотношение средней мощности альфа/дель-

та-ритмов было достоверно ниже в отведении Fp1-A1 в сравнении с F3-A1 ($p < 0,001$) в группе 10-10 и достоверно ниже в отведении Fp2 в сравнении с F4 в группе 10-20 ($p < 0,001$). Соотношение средней мощности альфа/тета-ритмов было достоверно ниже в Fp1-A1 по отношению к F3-A1 в группе 10-10 и в группе 10-20 ($p < 0,001$, $p = 0,002$) и в T4-A2 в сравнении с T6-A2 ($p < 0,001$) в группе 10-10.

Суммарная средняя мощность альфа-ритма была достоверно выше над правой лобной долей (отведения Fp2-A2 и F4-A2), чем над правой фронто-темпоральной областью (отведения F8-A2 и FT8-A2) ($p < 0,001$). Суммарная средняя мощность тета-ритма была достоверно выше над левой лобной долей (отведения Fp1-A1 и F3-A1), чем над левой фронто-темпоральной областью (отведения F7-A1 и FT7-A1) ($p = 0,002$), над правой лобной долей (отведения Fp2-A2 и F4-A2), чем над правой фронто-темпоральной областью (отведения F8-A2 и FT8-A2) ($p < 0,001$), над правой средне-задневисочной областью (отведения T4 и T6), чем над правой фронто-темпоральной областью (отведения F8-A2 и FT8-A2) ($p = 0,001$) (табл. 3, рис. 1).

После получения промежуточных результатов было проведено сравнение средней мощности альфа- и тета-ритмов в лобных и задневисочных отведениях, достоверных различий не получено.

Обсуждение

Нами получены нормативные данные по исследованным параметрам БЭА у здоровых детей, которые в последующем могут использоваться для сравнения с таковыми у пациентов того же возраста с различной патологией. По результатам исследования, у детей в возрасте 3–4 года в состоянии пассивного бодрствования наблюдался следующий паттерн распределения биоэлектрической активности.

Суммарная средняя мощность альфа-ритма была достоверно выше над правой лобной долей (отведения Fp2-A2 и F4-A2), чем над правой фронто-темпоральной областью, а также значение средней амплитуды альфа-ритма было достоверно выше в отведении F3-A1 по отношению к F7-A1, в отведении F4-A2 в сравнении с F8-A2, что ассоциируется с активностью премоторной области лобной коры, ответственной за динамический артикуляционный праксис (воспроизведение серии артикулем, слов, предложений) [23, 24].

Основная локализация альфа-ритма — затылочные отделы коры, регистрируется в состоянии расслабленного спокойного бодрствования, при снижении зрительного внимания (условия регистрации соблюдены, выполнены). Но это не про-

Таблица 3. Средние значения параметров для группы 10-10

	FP1-A1	FP2-A2	F3-A1	F4-A2	FZ-A1	F7-A1	F8-A2	T3-A1	T4-A2	T5-A1	T6-A2	FC5-A1	FT7-A1	FT8-A2	TP8-A2
Средняя амплитуда альфа-ритма	0,967 ± 0,114	1,10 ± 0,0996	1,07 ± 0,130	1,04 ± 0,104	0,777 ± 0,268	0,957 ± 0,0451	0,906 ± 0,121	0,841 ± 0,224	0,858 ± 0,159	1,11 ± 0,352	1,19 ± 0,267	0,875 ± 0,308	1,08 ± 0,308	0,971 ± 0,141	1,25 ± 0,237
Средняя амплитуда дельта-ритма	4,31 ± 0,920	4,70 ± 0,609	4,07 ± 1,07	4,53 ± 0,664	3,05 ± 1,62	3,56 ± 0,964	3,57 ± 0,710	3,00 ± 1,28	3,98 ± 1,08	4,54 ± 2,36	5,29 ± 1,22	3,94 ± 1,87	4,48 ± 2,18	4,63 ± 1,35	5,75 ± 1,66
Средняя амплитуда тета-ритма	1,89 ± 0,308	2,08 ± 0,283	1,86 ± 0,303	2,16 ± 0,330	1,62 ± 1,12	1,55 ± 0,348	1,63 ± 0,185	1,46 ± 0,593	1,55 ± 0,281	1,78 ± 0,588	2,08 ± 0,485	1,81 ± 0,821	2,05 ± 0,453	1,69 ± 0,261	2,44 ± 0,521
Средняя мощность альфа-ритма	1,49 ± 0,713	1,89 ± 0,714	1,82 ± 0,852	2,05 ± 0,648	1,16 ± 0,491	1,26 ± 0,393	1,18 ± 0,567	1,04 ± 0,556	1,13 ± 0,490	1,97 ± 0,113	1,88 ± 1,00	1,42 ± 0,717	1,62 ± 0,869	1,15 ± 0,439	2,21 ± 1,16
Средняя мощность дельта-ритма	34,6 ± 19,9	45,1 ± 18,3	33,4 ± 20,4	39,1 ± 17,7	31,2 ± 20,5	23,2 ± 13,1	28,0 ± 16,6	21,3 ± 12,5	28,0 ± 16,1	29,4 ± 17,3	37,5 ± 12,5	28,6 ± 16,5	29,5 ± 17,3	36,1 ± 22,0	43,3 ± 11,6
Средняя мощность тета-ритма	6,64 ± 3,87	7,23 ± 3,03	6,49 ± 2,39	7,55 ± 3,09	3,46 ± 1,61	3,75 ± 0,699	3,59 ± 1,61	3,50 ± 1,49	3,37 ± 1,47	4,69 ± 1,72	6,19 ± 2,55	5,46 ± 2,25	5,32 ± 2,07	3,57 ± 0,695	5,09 ± 1,42
Соотношение средней мощности альфа-/дельта-ритмов	0,0394 ± 0,0141	0,0534 ± 0,0224	0,0563 ± 0,0212	0,0563 ± 0,0238	0,0375 ± 0,0210	0,0517 ± 0,0209	0,0473 ± 0,0197	0,0479 ± 0,0184	0,0483 ± 0,0157	0,0462 ± 0,0154	0,0429 ± 0,0168	0,0566 ± 0,0186	0,0454 ± 0,0208	0,0373 ± 0,0162	0,0482 ± 0,0184
Соотношение средней мощности альфа-/тета-ритмов	0,238 ± 0,0447	0,260 ± 0,0612	0,319 ± 0,0673	0,275 ± 0,0723	0,243 ± 0,0530	0,315 ± 0,0856	0,304 ± 0,0727	0,327 ± 0,104	0,302 ± 0,0713	0,357 ± 0,123	0,402 ± 0,0962	0,250 ± 0,0606	0,305 ± 0,0924	0,309 ± 0,0507	0,312 ± 0,0968

тиворечит тому, что: 1) альфа-ритм представлен во всех отделах коры, существует лобно-затылочный градиент — снижение представленности альфа-ритма от затылочных к лобным отделам; 2) у детей зональные различия (лобно-затылочный градиент) формируются к 9–12 годам (индивидуально), и чем младше ребенок, тем меньше зональные различия, и, следовательно, альфа-ритм будет присутствовать во всех областях. Помимо этого, зональные различия могут быть сглаженными при различных нозологических состояниях (например, при дисфункции диэнцефальных структур). Таким образом, выраженность и представленность альфа-ритма может быть различной в отделах коры головного мозга, это зависит от различных факторов, начиная от возраста ребенка, его темперамента, наличия соматических заболеваний (например, при опухоли кранио-вертебральной области альфа-ритм будет регистрироваться вспышками, не регулярно и чаще именно на открывании глаз; при раздражении диэнцефальной области альфа-ритм будет регистрироваться в виде билатерально-синхронных вспышек в лобно-центральных отделах; при дисфункции мезэнцефалических отделов билатерально-синхронные вспышки альфа-ритма будут регистрироваться в теменно-центральных отделах и т. д.; 3) существует межполушарная асимметрия альфа-ритма; 4) у 30 % людей альфа-ритм отсутствует [24].

Формирующаяся «корковая ритмика» у детей, которую можно зарегистрировать еще до 30 недель гестации в виде нерегулярной прерывистой активности, в дальнейшем с представленностью диффузной тета-активности к младенческому возрасту, продолжает трансформироваться, достигая характеристик ЭЭГ взрослого вплоть до 18–20 лет

[21]. АЛЬФА-активность генерируется в основном зрительной корой, но помимо этого у одного человека может присутствовать несколько генераторов активности альфа-ритма, и его представленность зависит также от состояния регулирующих структур. Все это подтверждает многообразие проявлений альфа-ритма и его интерпретации.

Средняя мощность альфа-ритма была достоверно выше в отведении Т5-А1, чем в Т3-А1 и в Т6-А2 по отношению к Т4-А2, что соответствует активности задневисочных отделов, которые обеспечивают зрительное узнавание стилизованных предметов, извлечение фигуры из фона, т. е. узнавание и называние предметов оптически [23].

Достоверные различия по данным суммарной средней мощности альфа- и тета-ритмов в отведениях над лобными и фронтотемпоральными областями отражают взаимоотношения височных долей с премоторными зонами лобной коры, т. е. дугообразного пучка, отвечающего за «систему речи» [22–24].

Достоверно высокая средняя мощность альфа-ритма в проекции лобных долей формирует высший синтагмальный уровень речи (третичные поля лобной доли) [22–25]. Высший синтагмальный уровень речи — понятие, относящееся к нейропсихологии развития речи, по мере приобретения речевого навыка формирования артикуляционного праксиса (реализуется премоторной областью лобной коры) происходит интеграция фонемы в артикулему, формируется фонетическое единство («речь — мысль»), реализуется третичными полями лобной доли. Высокая мощность альфа-ритма в данном возрастном периоде и в топографическом представлении может быть интерпретирована именно с участием становления функции речи [21].

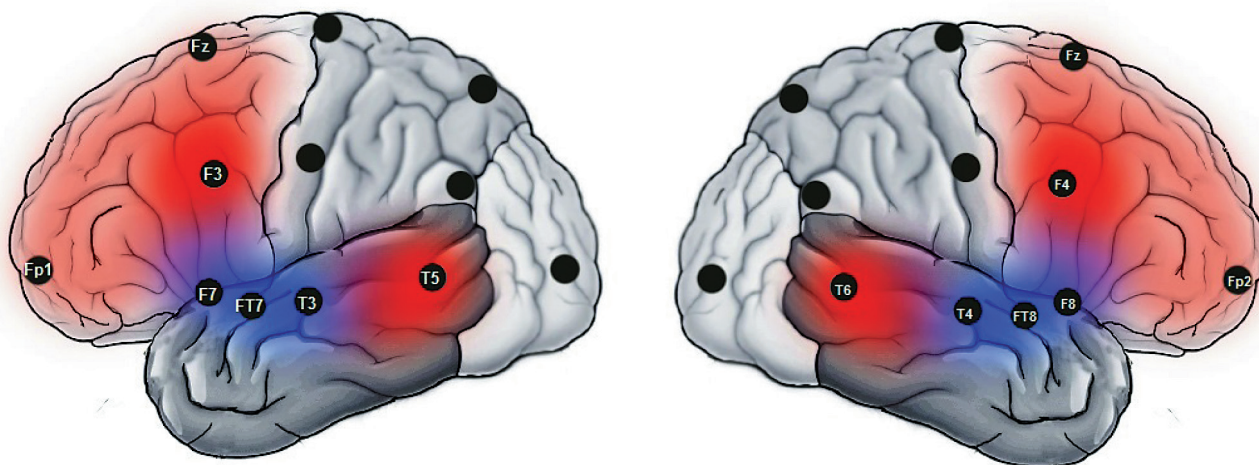


Рис. 1. Средняя мощность альфа-ритма в обследованной группе здоровых детей

Заключение

Выявленный паттерн может отражать характерные для состояния активного бодрствования у ребенка 3–4 лет особенности БЭА и применяться для сравнения в дальнейшем (как в ходе поведенческих экспериментов, так и наблюдения за пациентами с теми или иными патологическими процессами).

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии потенциально-го конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Благодарности / Acknowledgments

Исследование было выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-015-00269 и в рамках государственного задания № 075-00776-19-02.

Список литературы / References

- Gnezditskii VV, Piradov MA. Neirofiziologiya komu i narusheniya soznaniya (analiz i interpretatsiya klinicheskikh nablyudenii). Ivanovo: PresSto, 2015. P. 528. In Russian [Гнездицкий В.В., Пирадов М.А. Нейрофизиология комы и нарушения сознания (анализ и интерпретация клинических наблюдений). Иваново: ПресСто, 2015. С. 528].
- Herman ST, Abend NS, Bleck TP, et al. Consensus statement on continuous EEG in critically ill adults and children, part I: indications. J Clin Neurophysiol. 2015;32(2):87–95. DOI: 10.1097/WNP.000000000000166.
- Aleksandrov MV, Chukhlovina AA, Pavlovskaya ME, et al. Alpha-theta continuum: underlying neurophysiological mechanism. Medical alphabet. 2017;1(14):46–50. In Russian [Александров М.В., Чухловина А.А., Павловская М.Е., Костенко И.А., Архипова Н.Б. АЛЬФА-тета континуум: нейрофизиологические механизмы генерации. Медицинский алфавит. 2017;1(14):46–50].
- Miskovic V, Owens M, Kuntzelman K, et al. Charting moment-to-moment brain signal variability from early to late childhood. Cortex. 2016;83:51–61. DOI: 10.1016/j.cortex.2016.07.006.
- Ponyatishin AE, Palchik AB, Melashenko TV, et al. Neonatal'naya ehlektroehntsefalografiya. SPb.: Medpress-inform, 2021. p. 288. In Russian [Понятишин А.Е., Пальчик А.Б., Мелашенко Т.В. и др. Неонатальная электроэнцефалография. СПб.: Медпресс-информ, 2021. С. 288].
- Kuhlman WN. Functional topography of the human mu rhythm. Electroencephalogr Clin Neurophysiol. 1978 Jan;44(1):83–93. doi: 10.1016/0013-4694(78)90107-4.
- Stroganova TA, Ravich-Schsherbo IV, Orekhova EV, et al. Psihofiziologicheskoe osnovy individualnykh razlichiy detey rannego vozrasta. SPb.: SBBGU, 1999. P. 99. In Russian [Строганова Т.А., Равич-Щербо И.В., Орехова Е.В., и др. Психофизиологические основы индивидуальных различий детей раннего возраста СПб.: СПбГУ, 1999. С. 99].
- Schulte FJ, Bell EF. Bioelectric brain development. An atlas of EEG power spectra in infants and young children. Neuropadiatrie. 1973;4(1):30–45. DOI: 10.1055/s-0028-1091726.
- Petersén I, Eeg-Olofsson O. The development of the electroencephalogram in normal children from the age of 1 through 15 years. Non-paroxysmal activity. Neuropadiatrie. 1971 Feb;2(3):247–304. DOI: 10.1055/s-0028-1091786.
- Novikova LA. Sovremennye predstavleniya o proishozhdenii korkovoy ritmiki I analize elektroencefalogramm. M.: Medicina, 1960. P. 288. In Russian [Новикова Л.А. Современные представления о происхождении корковой ритмики анализе электроэнцефалограмм. М.: Медицина, 1960. С. 288].
- Deco G, Jirsa VK, McIntosh AR. Resting brains never rest: computational insights into potential cognitive architectures. Trends Neurosci. 2013;36(5):268–274. DOI: 10.1016/j.tins.2013.03.001.
- Whitford TJ, Rennie CJ, Grieve SM, et al. Brain maturation in adolescence: concurrent changes in neuroanatomy and neurophysiology. Hum Brain Mapp. 2007;28(3):228–237. DOI: 10.1002/hbm.20273.
- Miskovic V, Ma X, Chou C, et al. Developmental changes in spontaneous electrocortical activity and network organization from early to late childhood. Neuroimage. 2015;118:237–247. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2015.06.013.
- Coquelet N, Wens V, Mary A, et al. Changes in electrophysiological static and dynamic human brain functional architecture from childhood to late adulthood. Sci Rep. 2020;10(1):18986. DOI: 10.1038/s41598-020-75858-0.
- van Noordt S, Willoughby T. Cortical maturation from childhood to adolescence is reflected in resting state EEG signal complexity. Dev Cogn Neurosci. 2021;48:100945. DOI: 10.1016/j.dcn.2021.100945.
- Campus C, Signorini S, Vitali H, et al. Sensitive period for the plasticity of alpha activity in humans. Dev Cogn Neurosci. 2021;49:100965. DOI: 10.1016/j.dcn.2021.100965.
- Touwen B. Examination of the child with minimal neurological dysfunction. Clinics Develop Med. 1979;71:56–70.
- Craig GC. Developmental psychology. Prentice Hall, 1992. 674 p.
- Blonsky PP. Osnovy pedagogii. M.: 1930. In Russian [Блонский П.П. Основы педагогики. М., 1930].
- Vigotsky LS. Voprosy detskoy (vozrastnoy) psichologii. In: Sobranie sochinenii. T. 6. M.: Pedagogika. 1984. P. 243–403. In Russian [Выготский Л.С. Вопросы детской (возрастной) психологии. В кн.: Собрание сочинений. Т. 6. М.: Педагогика, 1984. с. 243–403].
- Palchick AG. Lectures on psychology of development. Medpressinform. M.: 2021, 5-th edition. In Russian [Пальчик А.Б. Лекции по неврологии развития. М.: Просвещение/Бином, 2013. С. 368].
- Vizel TG. Significance of hemispheric interaction processes in pathogenesis of speech disorders. Journal of Asymmetry. 2010;4(4): 9–21. In Russian [Визель Т.Г. Значение процессов полушарного взаимодействия в патогенезе нарушений речи. Асимметрия. 2010;4(4):9–21].
- Kalashnikova TP. Narushenie rechi u detey. Perm. Izd-vo Permskogo naz. Issled. Politehnicheskogo un-ta, 2017. P. 217. In Russian [Калашникова, Т.П. Нарушение речи у детей. Пермь: Изд-во Пермского нац. исслед. политехнического ун-та, 2017. С. 217].

24. Sinkin MV, Krylov VV. Rhythmic and periodic EEG patterns. Classification and clinical significance. Zhurnal Nevrologii i Psikiatrii imeni S.S. Korsakova. 2018;118(10-2):9-20. DOI: 10.17116/jnevro20181181029. In Russian [Синкин М.В., Крылов В.В. Ритмичные и периодические паттерны ЭЭГ. Классификация и клиническое значение. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Спецвыпуски. 2018;118(10-2):9-20. DOI: 10.17116/jnevro20181181029].

25. Ekusheva EV, Danilov AB, Vein AM. Hemiparesis syndrome: clinical-pathophysiological analysis. Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova. 2002;102(11):18.

Информация об авторах:

Войтенков Владислав Борисович, к.м.н., заведующий отделением функциональной диагностики ФГБУ ДНКЦИБ ФМБА России; доцент кафедры неврологии Академии постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России;

Пальчик Александр Бейнусович, д.м.н., профессор кафедры неонатологии с курсами неврологии и акушерства-гинекологии ФП и ДПО ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России; ведущий научный сотрудник НИЛ физиологии и патологии новорожденных ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Савельева Наталья Александровна, к.м.н., ассистент кафедры неврологии и медицинской генетики ФГБОУ ВО ПГМУ им. академика Е. А. Вагнера Минздрава России;

Богданова Евгения Павловна, врач функциональной диагностики, клиника «Источник» (ООО «ПолиКлиника»).

Author information:

Voitenkov Vladislav B., MD, PhD, Head of the Department of Functional Diagnostics, Pediatric Research and Clinical Center for Infectious Diseases; Associate Professor of the Department of Neurology of the Academy of Postgraduate Education of the Federal State Budgetary Institution FNKTs FMBA of Russia;

Palchick Alexander B., Dr. Sc., prof. Department of neonatology with courses in neurology and obstetrics and gynecology, St Petersburg State Pediatric Medical University; Leading Researcher of the Research Laboratory of Physiology and Pathology of Newborns, Almazov National Medical Research Centre;

Savelieva Natalia A., MD, PhD, Assistant of the Department of Neurology and Medical Genetics FSBEI HE Perm State Medical University named after E. A. Wagner of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation;

Bogdanova Evgenia P., MD, Functional Diagnostic Physician, «Istochnik» Clinic («PolyClinic» LLC).