

ВЛИЯНИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ЗРИТЕЛЬНОЙ АФФЕРЕНТАЦИИ НА РИТМИЧЕСКУЮ ОРГАНИЗАЦИЮ АЛЬФА-ЭЭГ-АКТИВНОСТИ

Поступила 25.06.2014

Взаимосвязь характеристик альфа-осцилляций ЭЭГ и состояния зрительной афферентации неоспорима, однако вопрос о наличии истинного альфа-ритма при зрительных дисфункциях является дискуссионным. Проведен аутокорреляционный анализ ритмических параметров альфа-активности в затылочных областях коры головного мозга детей, подростков и юношей (возраст от восьми до 20 лет) с разной остротой зрения. Дифференцированы пять типов ритмичности альфа-активности, характер которых зависел от времени формирования зрительных дисфункций. Установлено, что врожденные двусторонние зрительные дисфункции обуславливают уменьшение периодичности и устойчивости альфа-осцилляций с формированием в 45 % случаев низкоустойчивой аperiodической альфа-активности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЭЭГ, альфа-активность, аутокорреляционный анализ, зрительные дисфункции.

ВВЕДЕНИЕ

Имеются убедительные доказательства того, что типичный альфа-ритм ЭЭГ обусловлен, прежде всего, определенным образом синхронизированной кортикальной дендритной активностью преимущественно в зрительной коре. Нейроны сети, ответственные за генерацию такой активности, однозначно не локализованы, однако есть основания полагать, что они включают в себя не только кортико-кортикальные, но и корково-таламо-кортикальные связи. При этом на уровне таламуса значительная роль в генерации альфа-активности принадлежит латеральным колленчатым телам, подушке и ретикулярным ядрам, а на уровне кортекса – стриарной и экстрастриарной зрительной коре [1].

Такая значимость церебральных структур, сопряженных со зрительной функцией, для генеза альфа-активности неоднократно порождала интерес к зависимости характеристик альфа-ЭЭГ-осцилляций от зрительной афферентации. В этом контексте осо-

бое внимание уделялось констатации факта присутствия или отсутствия альфа-ритма при зрительных дисфункциях различной этиологии. Эдриан и Мэттьюс [2], а позже Ноэбелс и соавт. [3] констатировали, что «затылочный» альфа-ритм у взрослых людей с приобретенной и врожденной слепотой соответственно практически отсутствует. Однако Бергер [4] и Лумис и соавт. [5] полагали, что это в основном обусловлено состоянием высокой тревожности («настороженности») слепых во время регистрации ЭЭГ. Действительно, последующие исследования позволили выявить возможность наличия альфа-ритма у людей с тотальной и частичной слепотой разной этиологии. Так, ряд авторов, использовавших визуальный анализ, сообщали, что в составе ЭЭГ-активности при зрительных дисфункциях может иметься альфа-ритм, выявлявшийся в условиях тотальной (17–40 % случаев), парциальной (20–40 % [6, 7]) и кортикальной (17 % [8]) слепоты, ретролентальной фиброплазии (43 % [9]), пигментного ретинита (100 % [10]). Новикова [6], основываясь на результатах визуального анализа ЭЭГ, утверждала, что формирование альфа-ритма в случае зрительных дисфункций возможно даже при крайне низкой остроте зрения (менее 0.01).

Базанова [12], использовавшая визуальный анализ, в качестве одного из основных критериев «истинности» альфа-ритма рассматривала снижение амплитуды таких колебаний в условиях зрительной

¹ Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина (Украина).

² Харьковская медицинская академия последипломного образования (Украина).

³ ГУ «Институт охраны здоровья детей и подростков НАМН Украины», Харьков (Украина).

Эл. почта: iredka@yandex.ru (И. В. Редька).

и когнитивной активации. Данные о реактивности альфа-ЭЭГ-активности при зрительных дисфункциях, однако, весьма неоднозначны. Так, «нереактивный альфа-ритм» наблюдался в условиях двусторонней энуклеации [13], в 17–100 % случаев корковой слепоты [8, 11], в 29 % случаев слепоты различной этиологии [7]. Депрессия активности, имеющей альфа-частоту, в ответ на зрительную активацию отмечалась во всех случаях пигментного ретинита [10], в 7 % случаев тотальной слепоты и в 14.8 % парциальной слепоты [7].

Была показана существенная зависимость реакции ЭЭГ-активации от остроты зрения [6, 14]. Исследования детей со зрительной дисфункцией, но относительно сохранной остротой зрения позволили выявить у них в затылочной области альфа-ритм, но, как правило, пониженной амплитуды и со сниженной реактивностью в пробе с открыванием глаз. Указанная активность иногда была несколько «замедленной», нерегулярной и слабо модулированной по амплитуде [15, 16]. Таким образом, обнаруженные различными авторами «затылочные альфа-осцилляции» при зрительных дисфункциях не всегда соответствовали «истинному» альфа-ритму; скорее, их следовало квалифицировать как альфаподобную активность.

Еще одной наиболее информативной характеристикой «истинности» затылочного альфа-ритма (помимо частоты, пространственной локализации и реактивности) является его ауторитмичный паттерн (веретенообразная модуляция) [12].

Следует подчеркнуть, что визуальный анализ ЭЭГ, примененный в большинстве цитированных работ, и даже спектральный анализ не дают достаточных оснований для заключения о наличии или отсутствии ритмической организации ЭЭГ-активности любого диапазона, в том числе колебаний альфа-частоты. Более адекватен в этих случаях кор-

реляционный анализ [17, 19], который в вышеупомянутых работах не использовался.

В настоящем исследовании мы пытались выявить истинный альфа-ритм и охарактеризовать параметры ритмичности в альфа-диапазоне ЭЭГ, отводимой от затылочных кортикальных областей у детей и юношей (возраст восемь–20 лет) с различным состоянием зрительных функций.

МЕТОДИКА

В исследовании приняли участие 220 испытуемых с врожденными ($n = 100$) и приобретенными ($n = 120$) зрительными дисфункциями и 125 нормально развивающихся практически здоровых субъектов (контрольная группа) в возрасте от восьми до 20 лет. Каждая группа была разделена на три возрастные подгруппы (см. таблицу).

Общими критериями для включения испытуемых в исследование было отсутствие органической патологии ЦНС и черепно-мозговой травмы в анамнезе, отсутствие неврологических или психических расстройств и неприменение фармакологической терапии на момент исследования.

Подавляющее большинство обследованных со зрительными дисфункциями имели два-три офтальмологических диагноза и двустороннее поражение органов зрения. В данной работе мы не учитывали нозологические формы зрительных дисфункций, поскольку это выходило за рамки задач исследования. В то же время исследованные группы, очевидно, можно рассматривать как относительно гомогенные по показателям скорректированной остроты зрения (см. таблицу).

Регистрацию ЭЭГ осуществляли по общепринятой методике с помощью компьютерного электроэнцефалографа «DX-5000» (Украина) с частотой

Средние показатели скорректированной остроты зрения у испытуемых со зрительными дисфункциями

Середні показники коригувальної гостроти зору у випробуваних із зоровими дисфункціями

Возрастные группы	Вид зрительной дисфункции	Корригированная острота зрения	
		левого глаза	правого глаза
«Второе детство» (восемь–12 лет)	врожденная двусторонняя	0.14 ± 0.02	0.13 ± 0.02
	приобретенная двусторонняя	0.66 ± 0.04	0.60 ± 0.04
Подростковый возраст (13–16 лет)	врожденная двусторонняя	0.12 ± 0.03	0.16 ± 0.04
	приобретенная двусторонняя	0.68 ± 0.04	0.66 ± 0.04
Юношеский возраст (17–20 лет)	врожденная двусторонняя	0.10 ± 0.02	0.10 ± 0.02
	приобретенная двусторонняя	0.60 ± 0.05	0.67 ± 0.05

дискретизации 400 с^{-1} и 16-разрядного АЦП. ЭЭГ-потенциалы отводили монополярно от 23 локусов соответственно международной системе «10–20» с усредненным референтным электродом. Артефакты ЭЭГ, связанные с движениями глаз, устранили согласно окулограмме.

Фоновую ЭЭГ регистрировали в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами в течение 2.5 мин.

Корреляционный анализ ЭЭГ проводили с помощью пакета прикладных программ «NeuroResearcher® Innovation Suite, V. 17.5» (Украина).

Для проведения корреляционного анализа был определен оптимальный временной сдвиг $\tau_m = 1.5 \text{ с}$. В соответствии с ним была выбрана величина безартефактного участка ЭЭГ T (35–45 с), что позволяло свести к минимуму систематическую и случайную погрешности [19]. Для количественной оценки аутокорреляционных функций ЭЭГ применяли параметры, предложенные Русиновым с соавт. [20]. Оценивали аутокоррелограммы (АКГ) для альфа-диапазона (8–12 Гц), выделенного с помощью узкополосной фильтрации участков ЭЭГ, которую отводили от затылочных областей (О1 и О2), по следующим показателям: устойчивости периодики (Т_т) согласно величине задержки τ , при которой амплитуда периодических колебаний на АКГ уменьшалась до 10 % максимальной, и коэффициенту Кп/с, характеризующему выраженность периодики в данном образце ЭЭГ на отрезке графика АКГ от $\tau_1 = 0$ до $\tau_2 = 1500 \text{ мс}$. Этот коэффициент $K_{n/c} = \bar{A}_n / \bar{A}_c$ представляет собой отношение средней величины периодической (квазипериодической) составляющей \bar{A}_n к средней величине случайной составляющей \bar{A}_c . По отклонениям каждого колебания АКГ от пика до пика вычислялась средняя величина амплитуды \bar{A} , и определялись средняя выраженность периодической составляющей (половина этой средней амплитуды, $\bar{A}_n = \bar{A}/2$) и выраженность случайной составляющей \bar{A}_c как разница между максимальным значением корреляционной функции (K_{\max} при $\tau = 0$) и средним значением выраженности периодической составляющей \bar{A}_n , т.е. $\bar{A}_c = K_{\max} - \bar{A}_n$.

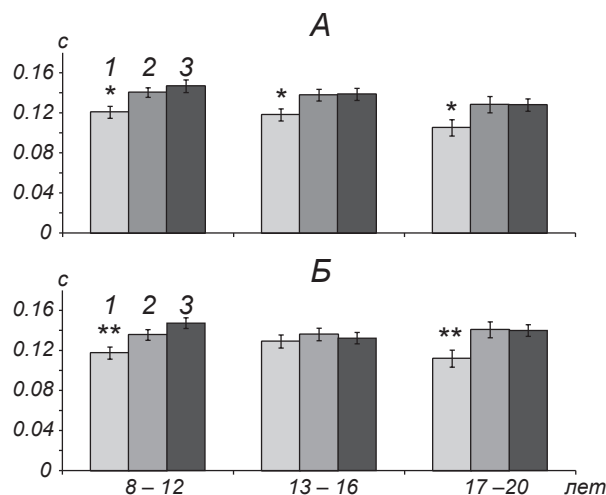
Сравнение возрастно-половых групп детей с различным состоянием зрительных функций проводили с использованием непараметрического критерия U Вилкоксона–Манна–Уитни и критерия ϕ^* (углового преобразования Фишера). Связь между переменными устанавливалась на основании коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Клас-

сификацию обследованных осуществляли на основании кластерного анализа по методу К-средних. Использовался пакет прикладных программ «Statistica 10».

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенный аутокорреляционный анализ позволил выявить особенности ритмичности затылочной альфа-активности при различном состоянии зрительной функции.

В целом в условиях зрительных дисфункций наблюдались более низкие значения устойчивости ритмической активности в альфа-диапазоне в затылочных областях. Достоверные различия выявлялись лишь в случае врожденных зрительных дисфункций. У обследованных детей и юношей значения устойчивости были снижены на 18 % слева ($P \leq 0.05$) и на 20 % справа ($P \leq 0.01$), а у подростков – на 14.9 ($P \leq 0.05$) и 2.5 ($P > 0.05$) % соответственно (рис. 1). Следует отметить, что у мальчиков достоверные отличия от контроля обнаруживались лишь в период «второго детства» (меньше на 21.1 % слева и на 22.5 % справа, $P \leq 0.05$), а у девочек – в юношеском возрасте (на 26.8 и 27.8 % соот-



Р и с. 1. Устойчивость периодичности ЭЭГ-осцилляций альфа-частоты при зрительных дисфункциях у обследованных разного возраста.

A – в левой, *B* – в правой затылочной области. 1–3 – вид зрительной дисфункции: 1 – врожденная, 2 – приобретенная, 3 – отсутствие дисфункции (контроль). * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$ при сравнении с контролем.

Р и с. 1. Стійкість періодичності ЕЕГ-осциляцій альфа-частоти при зорових дисфункціях у обстежених різного віку.

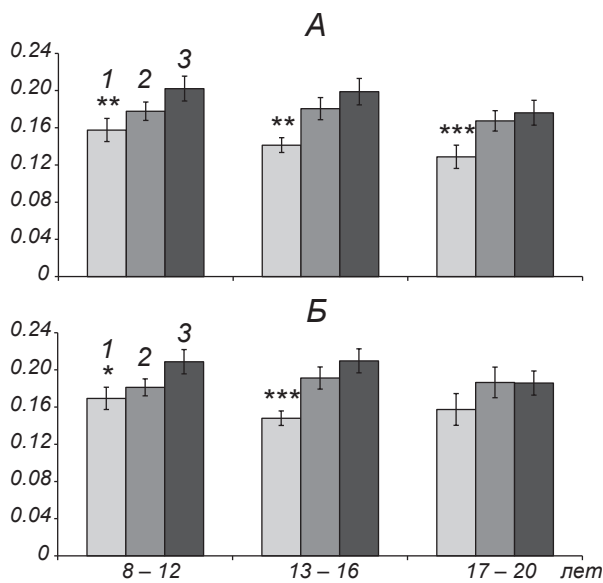


Рис. 2. Выраженность периодичности ЭЭГ-осцилляций альфа-частоты при зрительных дисфункциях. *** $P \leq 0.001$ при сравнении с контролем. Остальные обозначения те же, что и на рис. 1.

Рис. 2. Виразеність періодичності ЕЕГ-осциляцій альфа-частоти при зорових дисфункціях.

ветственно, $P \leq 0.01$).

Что же касается приобретенных зрительных дисфункций, то достоверных отличий от контроля по устойчивости ЭЭГ-активности в альфа-диапазоне в соответствующей группе не выявлялось.

Вторым показателем, характеризующим структуру колебаний ЭЭГ в альфа-диапазоне во времени, является выраженность периодики ($K_{n/c}$). Этот показатель имел более низкие значения по сравнению с контролем (0.20 ± 0.01 с) у обследованных восьми–20 лет, страдающих зрительными дисфункциями (при врожденной – 0.15 ± 0.01 , при приобретенной – 0.18 ± 0.01 с).

Достоверные различия, как и в случае устойчивости периодики альфа-колебаний, обнаруживались лишь в условиях врожденных зрительных дисфункций. Значения были снижены слева и справа у детей на 22.0 ($P \leq 0.01$) и 18.9 ($P \leq 0.05$) %, у подростков – на 28.9 ($P \leq 0.01$) и 29.4 ($P \leq 0.001$) %, у юношей – на 26.9 ($P \leq 0.001$) и 15.3 ($P = 0.058$) % соответственно (рис. 2).

У лиц с приобретенными зрительными дисфункциями значения коэффициента $K_{n/c}$ во всех возрастных группах проявляли лишь тенденцию ($P > 0.05$) к более низким значениям и практически достигали уровня контроля в юношеском возрасте.

Сравнение показателей ритмичности альфа-ко-

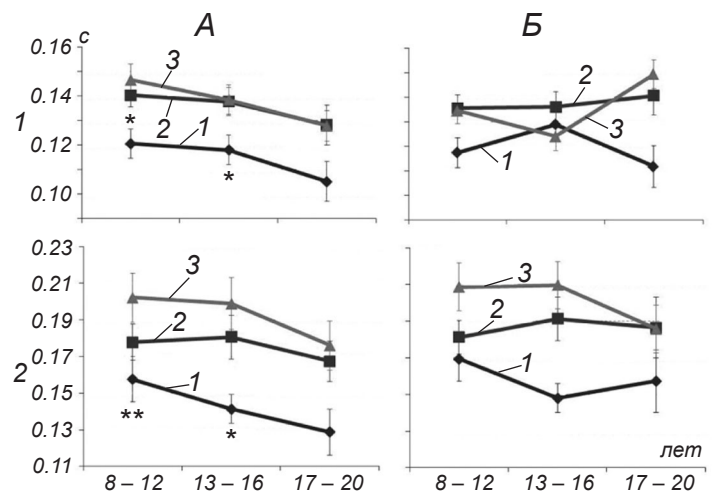


Рис. 3. Возрастная динамика устойчивости (1) и выраженности (2) ЭЭГ-осцилляций альфа-частоты при зрительных дисфункциях.

* $P \leq 0.05$, *** $P \leq 0.01$ при сравнении с группой юношей (17–20 лет). Остальные обозначения те же, что и на рис. 1.

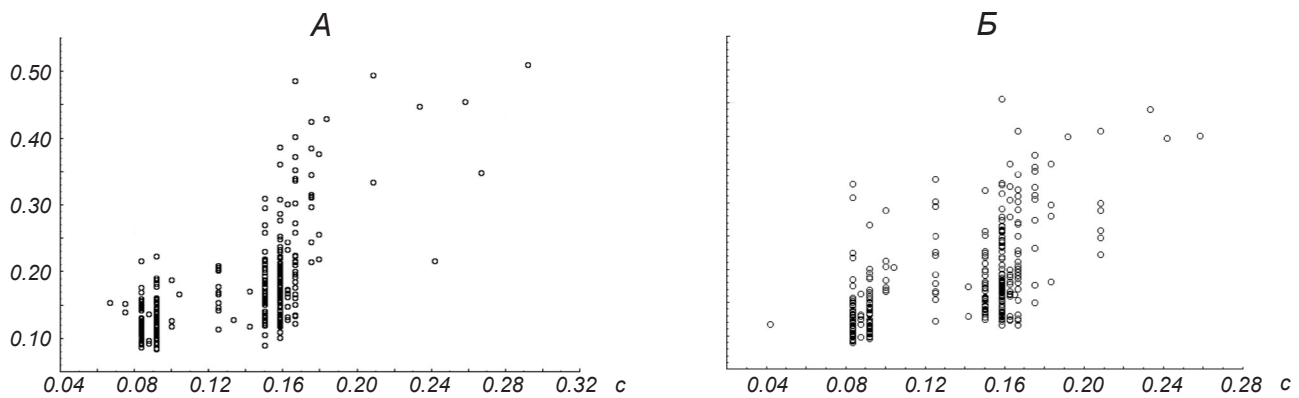
Рис. 3. Вікова динаміка стабільності (1) та виразеності (2) ЕЕГ-осциляцій альфа-частоти при зорових дисфункціях.

лебаний при врожденных и приобретенных зрительных дисфункциях выявило зависимость этой характеристики от времени проявления данной дисфункции. В случае врожденных зрительных дисфункций наблюдались достоверно более низкие значения устойчивости ритмической активности в альфа-диапазоне в период второго детства (слева – на 14.0, $P \leq 0.01$, справа – на 13.4 %, $P \leq 0.05$) и юношеского возраста (слева – на 18.1, $P \leq 0.05$, справа – на 20.5 %, $P \leq 0.01$) (рис. 1).

Периодичность альфа-осцилляций при врожденных зрительных дисфункциях была также снижена в левом полушарии на всех возрастных этапах (на 11–23 %, $P \leq 0.05$), а в правом полушарии – начиная с подросткового возраста (на 15–22 %, $P \leq 0.05$) (рис. 3).

Отсутствие четко выраженной возрастной динамики устойчивости периодики и выраженности ритмической активности в альфа-диапазоне ЭЭГ и перекрытие диапазонов вариаций в группах с различной остротой зрения позволили предположить, что внутри- и межгрупповая вариабельность соответствующих показателей обусловлена наличием качественно разных видов альфа-активности, в значительной степени не связанных с остротой зрения и возрастно-половой принадлежностью.

Исходя из представленных данных мы построи-



Р и с. 4. Распределение испытуемых с различным состоянием зрительных функций (острота зрения, ось ординат) в зависимости от устойчивости периодичности (T_r , А) и выраженности ($K_{n/c}$, Б) ЭЭГ-осцилляций альфа-частоты (оси абсцисс).

Р и с. 4. Розподіл випробуваних з різним станом зорових функцій (вісь ординат) залежно від стійкості періодичності (T_r) та вираженості ($K_{n/c}$) ЕЕГ-осциляцій альфа-частоти.

ли двумерные скатерограммы показателей (T_r , $K_{n/c}$) и провели визуальный анализ графиков АКГ, что дало возможность выявить пять типов альфа-активности (рис. 4; 5). Это стало предпосылкой для последующего кластерного анализа с целью определения параметров ритмичности различных типов альфа-активности.

Кластерный анализ подтвердил наличие пяти типов альфа-активности на основании показателей корреляционного анализа – устойчивости периодики (T_r) и выраженности ритмической активности ($K_{n/c}$), усредненные значения которых приведены на рис. 5. Эти результаты согласуются с используемой в клинике типологией ЭЭГ, предложенной Жирмунской [21] на основании визуального анализа суммарной ЭЭГ. Следует упомянуть, что применялись также данные о наличии устойчивых индивидуальных различий выраженности периодики ЭЭГ у взрослых (преобладание устойчивой периодической или случайной составляющей) [20].

В случаях сохранности зрительной функции, а также в условиях врожденных и приобретенных двусторонних зрительных дисфункций наиболее часто встречался один и тот же тип ритмичности альфа-активности в обеих затылочных областях. При врожденных зрительных дисфункциях выраженный альфа-ритм отсутствовал; в альфа-диапазоне относительно преобладала низкоустойчивая аperiodическая (неритмичная) активность (45.0 %). В случае же сохранного зрения и приобретенных зрительных дисфункций часто встречалась среднеустойчивая и среднепериодическая альфа-активность (33.6 и 41.7 % соответственно) (рис. 5).

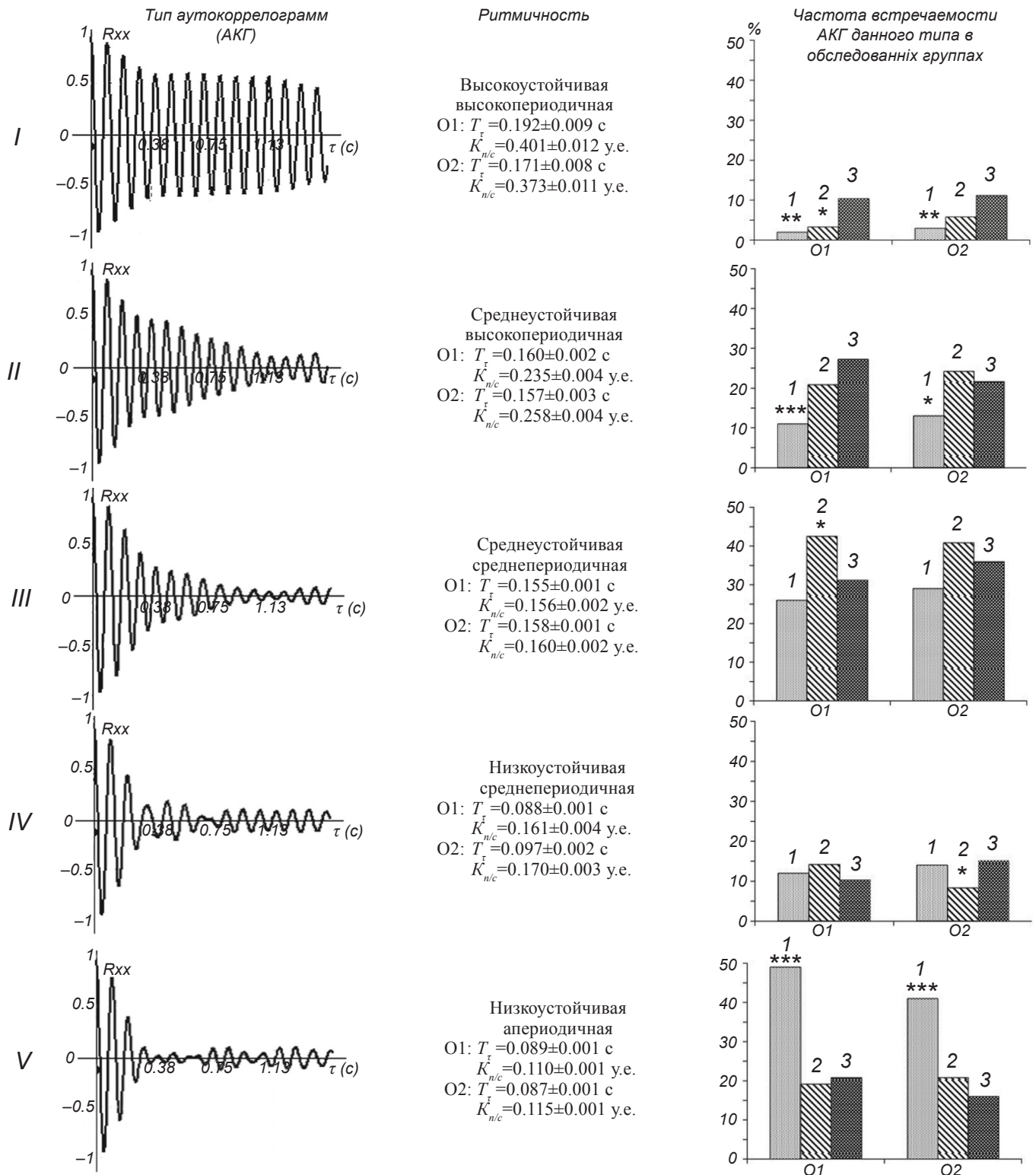
ОБСУЖДЕНИЕ

При интерпретации полученных данных следует исходить из того, что выявленные типы ритмичности в альфа-диапазоне связаны с различной амплитудной модуляцией ЭЭГ-осцилляций, обусловленной двумя факторами – ауторитмичностью и следовыми процессами.

Ауторитмичность определяется динамикой формирования альфа-веретен, в развитии которых различают три фазы: генерацию залповых разрядов ретикулярными таламическими нейронами, синхронизацию возбуждения ретикулярных и релейных нейронов таламуса, а также кортикальных нейронов и десинхронизацию таламо-кортикальной сети с последующей активацией релейных нейронов [22]. Кроме того, кратковременное нарушение стационарности альфа-активности может быть обусловлено следовыми процессами после действия афферентных стимулов, лежащими в основе синаптической пластичности.

Это позволяет обосновать наличие периодической и непериодической составляющих в аутокорреляционной функции ЭЭГ-сигнала, причем периодическая составляющая отображает в основном явления синхронизации в нейронном ансамбле, а непериодическая (случайная) – десинхронизацию. Указывалось, что сохранность динамического равновесия между синхронизацией и десинхронизацией необходима для нормального функционирования мозга; смещение данного баланса часто ассоциируется с патологическими состояниями [23–25].

В последнее время амплитудные флуктуации



Р и с. 5. Типы ритмичности (I–V) альфа-активности ЭЭГ и частота их встречаемости при зрительных дисфункциях. O1 и O2 – левое и правое затылочные отведения. Над диаграммами указан вид зрительной дисфункции: 1 – врожденная, 2 – приобретенная дисфункция; 3 – отсутствие дисфункций (контроль); T_{τ} – показатель устойчивости периодичности, $K_{n/c}^{\tau}$ – показатель ее выраженности при сравнении с контролем (* $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$, *** $P \leq 0.001$).

Р и с. 5. Типи ритмічності (I–V) альфа-активності ЕЕГ і частота їх виявлення при зорових дисфункціях.

альфа-осцилляций объясняются с позиций теории самоорганизующейся критичности [26], т. е. способности нейродинамической системы эволюционировать в направлении достижения критичности и поддерживать себя в этом состоянии. Это приводит к появлению новых свойств системы, обеспечивающих лучшие условия для передачи информации [27].

Было показано [26, 28, 29], что оптимальным состоянием для нормальной интегративной деятельности мозга является так называемое критическое состояние (самоорганизующаяся критичность), которое со статистической точки зрения характеризуется угасающими (в соответствии со степенным законом распределения) временными корреляциями [30]. Наличие угасающих аутокорреляционных функций такого рода (длительностью от 10 до 10^3 с, long-range time correlation) в сигналах ЭЭГ, в том числе у альфа-осцилляций, было показано у человека [26, 31]. Критическое состояние является неустойчивым, что при смещении параметров управления приводит к формированию либо гиперкоррелированной (гиперсинхронной), либо гипокоррелированной (десинхронной) активности. Клинически такие случаи соответствуют пароксизмальным или дегенеративным состояниям головного мозга [27].

Известно, что при отсутствии долговременных корреляций аутокорреляционная функция быстро приближается к нулю [32], а увеличение времени ее затухания является ключевым показателем утраты линейной устойчивости системы и приближения ее к точке бифуркации [33].

С учетом выявленной нами типологии ритмичности альфа-активности можно утверждать, что оптимальной для реализации интегративной деятельности мозга является среднеустойчивая и среднепериодичная альфа-активность (тип III), которая относительно доминировала в обеих затылочных областях у нормальновидящих лиц и субъектов с приобретенными зрительными дисфункциями.

Крайними вариантами неблагоприятных условий для реализации интегративной деятельности головного мозга с наименьшими адаптивными свойствами являются высокоустойчивая и высокопериодичная альфа-активность (тип I), которая относительно часто встречается у нормальновидящих субъектов, и неустойчивая аперииодичная альфа-активность (тип V), которая доминирует в обеих затылочных областях при врожденных зрительных дисфункциях.

Это положение находится в соответствии с данными о том, что физиологические системы мозга у здоровых лиц способны генерировать выраженные колебания многих временных диапазонов, тогда как болезненные состояния связаны с доминированием чрезмерно коррелированной или слишком неупорядоченной активности [34, 35].

Если сравнивать два указанные состояния между собой, то высокоустойчивая и высокопериодичная альфа-активность (тип I) может свидетельствовать о приближении нейродинамической системы к точке бифуркации. Результатом этого при определенных условиях может стать либо переход в состояние самоорганизующейся критичности с оптимальными параметрами деятельности, либо формирование патологического состояния. По-видимому, субъекты с альфа-активностью такого типа должны быть отнесены к группе неврологического риска.

Преобладание же неустойчивой аперииодичной альфа-активности (тип V) в затылочных областях у субъектов с врожденными зрительными дисфункциями, вероятно, отражает дегенеративные изменения в этих областях, обусловленные ограничением зрительной афферентации в критические периоды развития. Опосредованным подтверждением зависимости типа ритмичности альфа-активности от притока зрительной афферентации в критические периоды развития может служить нелинейное при врожденных зрительных дисфункциях заметной отрицательной корреляции (r_s от -0.294 до -0.346) между скорректированной остротой зрения и одним из типов ритмичности альфа-активности, тогда как при приобретенных зрительных дисфункциях подобная связь отсутствовала.

Предположение о существовании выраженных дегенеративных изменений в зрительной коре у лиц с врожденными зрительными дисфункциями (что сопровождается низкоустойчивой аперииодичной альфа-активностью типа V) согласуется с результатами прижизненного МРТ-исследования головного мозга рано ослепших людей. У таких лиц выявлялась значительная атрофия серого вещества в стриарной (на 25 %) и экстрастриарной (на 20 %) коре [36, 37]. Коррелятами атрофии в полях 17 и 18 Бродмана были изменения синаптической плотности, количества дендритных шипиков и степени арборизации аксонов; такие сдвиги ранее были описаны в морфологических исследованиях зрительно депривированных животных [38]. Время начала состояния слепоты заметно влияло на степень атрофии серого веще-

ства в зрительной коре с преимущественным поражением полей 17 и 18 Бродмана у поздноослепших.

Достаточно значительная частота случаев низкоустойчивой аперiodичной альфа-активности (тип V) среди нормальновидящих (16–20 %), по-видимому, может быть обусловлена тремя причинами. Одна из них – дегенеративные повреждения в перинатальный период, другая – определенная инертность церебральных механизмов, обеспечивающих “дозревание” структуры ЭЭГ-ритмов, а третья – незрелость систем интеграции [39]. Указанные причины могут воздействовать изолированно либо комбинируясь друг с другом.

Выявленные нами среднеустойчивый высокопериодичный (тип II) и низкоустойчивый среднепериодичный (тип IV) виды альфа-активности, по-видимому, являются переходными; их наличие, возможно, обусловлено недостаточностью функциональных резервов.

Распределение обследованных лиц по выделенным типам ритмичности альфа-активности, вероятно, в определенной степени определяется генетической детерминированностью типа суммарной ЭЭГ. В частности, при визуальном анализе ЭЭГ было показано, что низкоамплитудный, а также монотонный (согласно терминологии авторов) виды альфа-активности, которые в нашем исследовании, вероятно, можно сопоставить соответственно с низкоустойчивой и среднепериодичной (тип IV), а также высокоустойчивой и высокопериодичной (тип I) альфа-активностями, имеют аутосомно-доминантный тип наследования и могут рассматриваться как варианты нормы [40].

По имеющимся литературным данным [20], средние значения выраженности периодики ($K_{n/c}$) у здоровых взрослых людей для осцилляций альфа-диапазона ЭЭГ в затылочной области составляют $0.24 \pm \pm 0.06$ с, что совпадает с нашими данными для контрольной группы. Выявленное нами значительное уменьшение $K_{n/c}$ у испытуемых со зрительными дисфункциями, очевидно, отражает увеличение случайной составляющей в ритмичности альфа-диапазона. Вероятно, это в значительной степени обусловлено нарушением механизмов, обеспечивающих ауторитмичность альфа-колебаний; такое нарушение связано с ограничением зрительной афферентации. Одной из причин увеличения случайной составляющей $K_{n/c}$ может быть наличие множественных генераторов альфа-активности головного мозга, локализованных не только в таламусе, но и за его пределами, в част-

ности в стриарной и экстрастриарной коре [1]. Как указывалось ранее, зрительная депривация приводит к дегенеративным изменениям в сером веществе этих областей коры, а также в латеральном коленчатом теле и подушке [36, 37]. Кроме того, отмечается усиление обратных тормозных связей между корзинчатыми и звездчатыми нейронами в зрительной коре, что приводит к облегчению длительной потенциации торможения в условиях зрительной депривации [41]. Отмеченные выше причины могут обуславливать уменьшение количества эффективных возбуждающих кортикальных синапсов, задействованных в генерацию альфа-осцилляций.

Кроме того, возможной причиной увеличения случайной составляющей $K_{n/c}$ альфа-активности в затылочных областях при зрительных дисфункциях могут служить изменения в мезэнцефальных структурах головного мозга, которые нами были выявлены ранее [42]. Это предположение согласуется с данными о повышении веса случайной составляющей и, соответственно, ускорении, затухания аутокорреляционной функции в условиях дисфункций ствола мозга на мезэнцефальном уровне [43].

Таким образом, хроническое ограничение притока зрительной афферентации вследствие врожденной зрительной дисфункции приводит к существенному изменению ритмичности осцилляции альфа-диапазона ЭЭГ, обуславливая нарушения выраженности и устойчивости периодики альфа-активности. В 45 % случаев врожденной зрительной дисфункции можно говорить о наличии лишь альфаподобной активности, но не альфа-ритма как такового. Результаты нашего исследования также позволяют констатировать, что применение корреляционного анализа является эффективным приемом для исследования функциональной пластичности мозга, проявляющейся в ходе нормального и патологического онтогенетического развития.

Исследования проводились с соблюдением национальных норм биоэтики и положений Хельсинкской декларации 1975 г. (в редакции 2000 г.); были получены предварительное согласие обследованных детей и письменное согласие родителей после подробного информирования о целях, длительности и процедуре исследования.

Авторы данной статьи – И. В. Редька и О. Ю. Майоров – подтверждают отсутствие конфликтов любого рода, касающихся коммерческих или финансовых отношений, отношений с организациями или лицами, которые каким-либо образом могли быть связаны с исследованием, и взаимоотношений соавторов статьи.

І. В. Редька¹, О. Ю. Майоров^{1,2,3}

ВПЛИВ ОБМЕЖЕННЯ ЗОРОВОЇ АФЕРЕНТАЦІЇ НА РИТМІЧНУ ОРГАНІЗАЦІЮ АЛЬФА-ЕЕГ-АКТИВНОСТІ

¹ Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна (Україна).

² Харківська медична академія післядипломної освіти (Україна).

³ ДЗ «Інститут охорони здоров'я дітей та підлітків НАМН України», Харків (Україна).

Резюме

Взаємозв'язок характеристик альфа-осциляцій ЕЕГ і стану зорової аферентації є незаперечним, однак питання про наявність справжнього альфа-ритму при зорових дисфункціях є дискусійним. Проведено аутокореляційний аналіз ритмічних параметрів альфа-активності в потиличних ділянках кори головного мозку дітей, підлітків та юнаків (вік від восьми до 20 років) з різною гостротою зору. Диференційовані п'ять типів ритмічності альфа-активності, характер яких залежав від часу формування зорових дисфункцій. Встановлено, що вроджені двобічні зорові дисфункції зумовлюють зменшення періодичності та стійкості альфа-осциляцій з формуванням у 45 % низькостійкої аперіодичної альфа-активності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. A. Bollimunta, J. Mo, Ch. E. Schroeder, and M. Ding, "Neuronal mechanisms and attentional modulation of corticothalamic alpha oscillations," *J. Neurosci.*, **31**, No. 13, 4935-4943 (2011).
2. E. D. Adrian and B. H. Matthews, "The interpretation of potential waves in the cortex," *J. Physiol.*, **81**, No. 4, 440-471 (1934).
3. J. L. Noebels, W. T. Roth, and B. S. Kopell, "Cortical slow potentials and the occipital EEG in congenital blindness," *J. Neurol. Sci.*, **37**, 51-58 (1978).
4. H. Berger, "Über das Elektroencephalogramm des Menschen. Siebente Mitteilung," *Arch. Psychiat. Nervenkrankheiten*, **100**, 301-320 (1933).
5. A. L. Loomis, E. N. Harvey, and G. Hobart, "Electrical potentials of the human brain," *J. Exp. Psychol.*, **19**, 249-279 (1936).
6. Л. А. Новикова, *Влияние нарушений зрения и слуха на функциональное состояние мозга (электроэнцефалографическое исследование)*, Просвещение, Москва (1966).
7. P. M. Jeavons, "The electroencephalogram in blind children," *Br. J. Ophthalmol.*, **48**, 83-101 (1964).
8. P. S. Bergman, "Cerebral blindness: an analysis of twelve cases, with especial reference to the electroencephalogram and patterns of recovery," *AMA Arch. Neurol. Psychiat.*, **78**, No. 6, 568-584. (1957).
9. J. Cohen, L. D. Boshes, and R. S. Snider, "Electroencephalographic changes following retrolental fibroplasias," *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, **13**, No. 6, 914-922 (1961).

10. A. E. Krill and F. W. Stamps, "The electroencephalogram in retinitis pigmentosa," *Am. J. Ophthalmol.*, **49**, 762-773 (1960).
11. R. Robertson, J. E. Jan, and P. K. Wong, "Electroencephalograms of children with permanent cortical visual impairment," *Can. J. Neurol. Sci.*, **13**, No. 3, 256-261 (1986).
12. О. М. Базанова, "Современная интерпретация альфа-активности электроэнцефалограммы," *Успехи физиол. наук*, **40**, № 3, 32-53 (2009).
13. A. Callahan and F. C. Redlich, "Electroencephalography and ophthalmology," *Am. J. Ophthalmol.*, **29**, No. 12, 1522-1533 (1946).
14. J. E. Jan and P. K. Wong, "Behavior of the alpha rhythm in electroencephalograms of visually impaired children," *Dev. Med. Child. Neurol.*, **30**, No. 4, 444-450 (1988).
15. Д. М. Бабаханова, "Клинико-функциональная оценка состояния органа зрения в процессе лечения гиперметропической амблиопии," *Рос. мед. журн., Приложение, Клин. офтальмология*, **12**, № 2, 75-78 (2011).
16. Т. А. Ястребцева, С. И. Слуцкий, Т. Е. Демидова, В. Е. Поликарпова, "Электроэнцефалография у школьников 10-12 лет с близорукостью," *Вестн. офтальмологии*, **127**, № 5, 41-44 (2011).
17. D. J. A. Smit, E. J. C. de Geus, M. E. van de Nieuwenhuijzen, et al., "Scale-free modulation of resting-state neuronal oscillations reflects prolonged brain maturation in humans," *J. Neurosci.*, **31**, No. 37, 13128-13136 (2011).
18. T. Montez, S.-S. Poilc, B. F. Jones, et al., "Altered temporal correlations in parietal alpha and prefrontal theta oscillations in early-stage Alzheimer disease," *PNAS*, **106**, No. 5, 1614-1619 (2009).
19. О. Ю. Майоров, А. Б. Глухов, "Обоснование параметров и оценка погрешностей при цифровом спектральном анализе ЭЭГ," *Физиология человека*, **14**, № 1, 81-86 (1988).
20. *Биопотенциалы мозга человека. Математический анализ*, под ред. В. С. Русинова, Медицина, Москва (1987).
21. Е. А. Жирмунская, В. С. Лосев, *Система описания и классификация электроэнцефалограмм человека*, Наука, Москва (1984).
22. I. Timofeev and M. Bazhenov, "Mechanisms and biological role of thalamocortical oscillations," in: *Trends in Chronobiology Research*, F. Columbus (ed.), Nova Sci. Publ. Inc, New York (2005).
23. F. H. Lopes Da Silva and J. P. Pijn, *Handbook of Brain Theory and Neural Networks*, MIT Press, Cambridge (1995).
24. M. Le Van Quyen, J. Martinerie, V. Navarro, and F. J. Varela, "Characterizing neurodynamic changes before seizures," *J. Clin. Neurophysiol.*, **18**, No. 3, 191-208 (2001).
25. T. I. Netoff and S. J. Schiff, "Decreased neuronal synchronization during experimental seizures," *J. Neurosci.*, **22**, No. 16, 7297-7307 (2002).
26. K. Linkenkaer-Hansen, V. V. Nikouline, J. M. Palva, and R. J. Ilmoniemi, "Long-range temporal correlations and scaling behavior in human brain oscillations," *J. Neurosci.*, **21**, No. 4, 1370-1377 (2001).
27. C. J. Stam, "Nonlinear dynamical analysis of EEG and MEG: Review of an emerging field," *Clin. Neurophysiol.*, **116**, 2266-2301 (2005).
28. J. M. Beggs and D. Plenz, "Neuronal avalanches in neocortical circuits," *J. Neurosci.*, **23**, 11167-11177 (2003).
29. P. J. Drew and L. F. Abbott, "Models and properties of power-law adaptation in neural systems," *J. Neurophysiol.*, **96**, 826-833 (2006).

30. P. Bak, C. Tang, and K. Wiesenfeld, "Self-organized criticality: an explanation of the 1/f noise," *Phys. Rev. Lett.*, **59**, 381 (1987).
31. V. V. Nikulin and T. Brismar, "Long-range temporal correlations in electroencephalographic oscillations: relation to topography, frequency band, age and gender," *Neuroscience*, **130**, 549-558 (2005).
32. L. M. Parish, G. A. Worrell, S. D. Cranstoun, et al., "Long-range temporal correlations in epileptogenic and non-epileptogenic human hippocampus," *Neuroscience*, **125**, 1069-1076 (2004).
33. M. J. Aburn, C. A. Holmes, J. A. Roberts, et al., "Critical fluctuations in cortical models near instability," *Front. Physiol.*, doi: 10.3389/fphys.2012.00331 (2012).
34. A. L. Goldberger, L. A. N. Amaral, J. M. Hausdorff, et al., "Fractal dynamics in physiology: alterations with disease and aging," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **99**, 2466-2472 (2002).
35. D. R. Chialvo, "The brain near the edge," in: *Cooperative Behavioral Neural System: Ninth Granada Lectures (AIP Conf. Proc.)*, P. L. Garrido, J. Marro, J. J. Torres (eds.), Granada (2007).
36. U. Noppeney, K. J. Friston, J. Ashburner, et al., "Early visual deprivation induces structural plasticity in gray and white matter," *Current Biol.*, **15**, 488-490 (2005).
37. N. Lepore, P. Voss, F. Lepore, et al., "Brain structure changes visualized in early- and late-onset blind subjects," *NeuroImage*, **49**, No. 1, 134-140 (2010).
38. A. Globus and A. B. Scheibel, "Loss of dendrite spines as an index of pre-synaptic terminal patterns," *Nature*, **212**, 463-465 (1966).
39. Н. Ю. Кожушко, "Возрастные особенности формирования биоэлектрической активности мозга у детей с отдаленными последствиями перинатального поражения ЦНС. Сообщение I. Спонтанная активность", *Физиология человека*, **31**, № 1, 5-14 (2005).
40. F. Vogel, "The genetic basis of the normal human electroencephalogram (EEG)," *Humangenetik*, **10**, 91-114 (1970).
41. A. Maffei, K. Nataraj, S. B. Nelson, and G. G. Turrigiano, "Neuronal mechanisms and attentional modulation of corticothalamic alpha oscillations," *Nature*, **443**, 81-84 (2006).
42. И. В. Редька, О. Ю. Майоров, "Спектральні характеристики фонові електричної активності головного мозку при зорових дисфункціях", *Neurophysiology/Нейрофизиология*, **46**, № 2, 164-173 (2014).
43. Е. А. Корсакова, А. В. Мясников, В. Б. Слезин, Э. П. Тихонов, "Комплексное применение спектрально-корреляционного анализа электроэнцефалограмм в определении локализации очагов патологической активности головного мозга", *Вестн. новых мед. технологий*, **10**, № 1/2, 81-83 (2003).

УДК 612.82:617.751.9-053

Влияние ограничения зрительной афферентации на ритмическую организацию альфа-ЭЭГ-активности / Редька И. В., Майоров О. Ю. // Neurophysiology / Нейрофизиология. – 2015. – 47, № 3. – С. 270-279.

Взаимосвязь альфа-осцилляций ЭЭГ и состояния зрительной афферентации неоспорима, однако вопрос о наличии истинного альфа-ритма при зрительных дисфункциях является дискуссионным. Проведен аутокорреляционный анализ ритмических параметров альфа-активности в затылочных областях коры головного мозга детей, подростков и юношей (возраст от восьми до 20 лет) с разной остротой зрения. Дифференцированы пять типов ритмичности альфа-активности, характер которых зависел от времени формирования зрительных дисфункций. Установлено, что врожденные двусторонние зрительные дисфункции обуславливают снижение периодичности и устойчивости альфа-осцилляций с формированием в 45 % случаев аperiodической неустойчивой альфа-активности. Ил. 5. Табл. 1. Библиогр. 43.