

ДИНАМИКА ЭЭГ-ПОТЕНЦИАЛОВ В НАЧАЛЕ СЕРИИ СЕАНСОВ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ЭЭГ

Поступила 22.08.06

У 70 здоровых испытуемых, разделенных на экспериментальную ($n = 37$) и контрольную ($n = 33$) группы, исследовали изменения амплитуд компонентов связанных с событиями ЭЭГ-потенциалов (ССП) и спектров мощности текущей ЭЭГ в ходе проведения серии из трех сеансов обратной связи (ОС) по ее характеристикам (ЭЭГ-ОС), ориентированных на увеличение отношения мощности α -ритма к мощности θ -ритма. Сигналом ОС служила громкость белого шума, совмещенного с музыкальным фоном. Она уменьшалась при увеличении упомянутого отношения; в контрольной же группе эта громкость оставалась неизменной. ЭЭГ-потенциалы отводили в точках С3 и С4. ССП регистрировали в парадигме отмеривания временных интервалов. На протяжении серии сеансов ЭЭГ-ОС отношение мощностей α - и θ -ритмов у испытуемых как контрольной, так и экспериментальной группы несколько снижалось, однако у испытуемых экспериментальной группы уменьшение этого отношения было менее значительным, и к концу третьего сеанса в правом полушарии данный индекс статистически значимо превышал соответствующий показатель в контрольной группе. После сеансов ЭЭГ-ОС выявлялось также значимое увеличение амплитуд раннего компонента потенциала готовности в обоих полушариях и условной негативной волны в правом полушарии. Можно заключить, что количество сеансов α/θ -тренинга в эффективной серии, приводящей к изменению паттерна ЭЭГ-потенциалов у большинства здоровых испытуемых, составляет как минимум три.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: обратная связь по характеристикам ЭЭГ, частотные компоненты ЭЭГ, отсчет времени, связанные с событием ЭЭГ-потенциалы.

ВВЕДЕНИЕ

Результаты исследований последних лет свидетельствуют о том, что существуют значимые корреляционные связи показателей ЭЭГ с функциональными характеристиками текущего состояния человека, в частности с уровнем его общей активности, самочувствием и эмоциональным состоянием [1–6]. Тесная взаимосвязь соответствующих электро-, нейро- и психофизиологических процессов лежит в основе метода обратной связи (ОС) по показателям ЭЭГ (ЭЭГ-ОС, нейрофидбэк, нейроОС, нейротерапия). Сущность метода состоит в том, что испытуемый, пользуясь различными приемами саморегуляции своего текущего психофизиологического состояния (физическое расслабление,

психическая релаксация или, наоборот, концентрация внимания) и ориентируясь на сигнал ОС, информирующий об амплитудно-частотных характеристиках ЭЭГ, пытается целенаправленно достичь сдвигов этого своего состояния.

Одним из наиболее часто применяемых протоколов ЭЭГ-ОС является так называемый α/θ -тренинг. Цель такого тренинга состоит в увеличении отношения мощности α -ритма к мощности θ -ритма. Как правило, высокие значения α/θ -соотношения коррелируют с состоянием спокойной релаксации испытуемых. Поэтому сеансы, в результате которых увеличивалось соотношение мощностей α - и θ -ритмов, показали свою эффективность при лечении неврозов, эндогенной депрессии, нарушений сна, аддиктивных расстройств, синдрома хронической усталости; они приводили также к снижению тревожности и снятию психоэмоционального напряжения (в частности, после интенсивной рабо-

¹ Таврический национальный университет им. В. И. Вернадского, Симферополь (АР Крым, Украина).
Эл. почта: pavlenkovb@crimea.edu (В. Б. Павленко).

ты на персональном компьютере) [7–10]. Получены данные о том, что тренинг, ориентированный на увеличение мощности родственного α -ритму сенсомоторного ритма, показан при лечении судорожных расстройств [11].

Несмотря на то, что α/θ -тренинги нашли своё практическое применение, природа благоприятного влияния сеансов ЭЭГ-ОС на процессы, протекающие в ЦНС и организме в целом, пока в значительной мере неясна, и имеются лишь отдельные более или менее обоснованные предположения в данном аспекте. Так, полагают, что результатом подобных тренингов является изменение возбудимости нейронов неокортекса при перестройке восходящих влияний от вентробазального комплекса таламуса [11] или от неспецифических аминергических стволовых систем [12].

С учетом этого представляется целесообразным изучить не только изменения частотного паттерна ЭЭГ в процессе тренинга и по его завершению, но и характер изменений эндогенных ЭЭГ-феноменов – связанных с событиями ЭЭГ-потенциалов (ССП). Амплитудные характеристики СПП в значительной степени определяются активностью неспецифических восходящих систем головного мозга и достаточно отчетливо коррелируют с текущим нейро- и психофизиологическим состоянием человека [13]. Ранее мы обнаружили, что даже однократные сеансы α/θ -тренинга приводят к значимому сокращению времени сенсо-моторной реакции и росту амплитуды условной негативной волны (УНВ); тесты проводились в условиях двустимульной экспериментальной парадигмы с предупреждающим и императивным сигналами [14]. Очевидный интерес представляет также изучение характера изменений СПП в экспериментальной ситуации с внутренним отсчетом заданных временных интервалов. Такая экспериментальная парадигма вовлекает испытуемого в весьма сложную деятельность, требующую отмеривания временных интервалов, и обеспечивает запуск подготовки самоиницируемого движения в условиях значительного уровня неопределенности [15]. Есть основания ожидать, что регистрируемая в указанной экспериментальной ситуации совокупность эндогенных СПП, включающая в себя потенциал готовности (ПГ), УНВ и потенциал Р300, под влиянием ряда сеансов ЭЭГ-ОС должна претерпевать определенные изменения.

Следует также отметить, что однократные сеансы α/θ -тренинга позволяют достичь значительно увеличения соотношения мощностей α - и θ -рит-

мов лишь у отдельных испытуемых, в то время как в целом по группе наблюдаются в основном некоторые тенденции к изменению мощности ритмов ЭЭГ [14, 16]. Продолжительная серия из 10–15 сеансов обычно приводит к достаточно устойчивым изменениям мощности ритмов ЭЭГ у большинства участников исследований [8, 17]. Динамика же частотного паттерна ЭЭГ на протяжении начального периода тренинга (например, включающего в себя три сеанса ЭЭГ-ОС) пока остается недостаточно изученной.

В связи с этим целью нашего исследования были выявление динамики паттерна текущей ЭЭГ-активности на протяжении трех сеансов α/θ -тренинга, а также анализ изменений амплитудных характеристик СПП, которые были зарегистрированы в парадигме внутреннего отсчета заданных временных интервалов, в ходе указанного тренинга.

МЕТОДИКА

В исследовании приняли участие 70 здоровых испытуемых (студенты Таврического национального университета им. В. И. Вернадского) в возрасте от 18 до 30 лет, обоего пола. Из них 37 человек входили в экспериментальную группу, а 33 – в группу контроля. Все испытуемые были добровольцами и не находились в состоянии эмоционального стресса.

У испытуемых экспериментальной группы регистрировали СПП в парадигме внутреннего отсчета заданных временных интервалов дважды – до первого и после третьего сеансов ЭЭГ-ОС, ориентированных на увеличение отношения мощностей α - и θ -ритмов. У испытуемых контрольной группы СПП регистрировали до и после трех сеансов воздействия индифферентного звукового фона (прослушивание музыки). Сеансы ЭЭГ-ОС и их имитацию проводили в течение трех дней подряд, по одному сеансу в день, в одно и то же время.

Отведение и анализ ЭЭГ осуществлялись с помощью автоматизированного комплекса, состоящего из электроэнцефалографа, лабораторного интерфейса и компьютера. Рабочими программами были “SPECTR” (программист А. В. Сухинин) и “VFB-2” (программист В. В. Арбатов). ЭЭГ-потенциалы отводили монополярно, в точках С3 и С4 согласно системе 10–20. Референтным электродом служили объединенные контакты над сосцевидными отростками. Для регистрации СПП каналы усилите-

лей были модифицированы таким образом, чтобы получить воспроизведение полосы частот от 0.016 до 70 Гц.

В задаче, на протяжении которой регистрировали ССП, испытуемому требовалось многократно (порядка 30 раз) отмерить 20-секундный интервал, используя два последовательных нажатия на кнопку большим пальцем правой руки. Отсчет начинался испытуемым в произвольный момент времени путем начального нажатия. Когда испытуемый заканчивал отсчет правильного, по его мнению, временного интервала, он нажимал на кнопку второй раз (финишное нажатие). Испытуемого предупреждали о том, что о правильности измерения такого интервала он узнает по сигналам ОС, предъявляемым на светодиодном табло. Сигнал ОС длительностью 1 с включался через 2 с после финишного нажатия на кнопку. Он представлял собой вертикальную черту при достаточно правильном измерении заданного интервала (20 ± 1 с), знак «минус», если испытуемый отмерил слишком короткий временной интервал (менее 19 с), и знак «плюс», если интервал был излишне длинным (более 21 с).

В исследуемой экспериментальной ситуации последовательно регистрировались несколько эндогенных ССП. Перед финишным нажатием на кнопку (как и перед стартовым) регистрировался ПГ, перед сигналом ОС – УНВ, а после сигнала ОС – потенциал P300, связанный с восприятием значимой для испытуемого информации о выполнении теста. Для ПГ рассчитывали среднюю амплитуду его раннего и позднего компонентов (в интервалах 1.0 ... 0.5 и 0.5 ... 0.1 с до нажатия на кнопку).

Проведение каждого сеанса ЭЭГ-ОС включало в себя три этапа. На первом этапе (продолжительность 2.5 мин) испытуемым предъявлялся нейтральный акустический фон: они слушали спокойную музыку, совмещенную с постоянным по интенсивности звуковым белым шумом. На втором этапе (5 мин) испытуемым предлагалось пытаться управлять отношением мощностей α - и θ -ритмов ЭЭГ в правом полушарии, ориентируясь на акустический сигнал ОС. В качестве такового использовали громкость белого шума, которая при увеличении мощности α -ритма и понижении мощности θ -ритма уменьшалась (шум становился тише и исчезал); в противоположном же случае громкость шума возрастала. На третьем этапе (последствие ЭЭГ-ОС, продолжительность 2.5 мин) сигнал ОС выключался, а музыкальный фон сохранялся.

Испытуемым контрольной группы предлагался сеанс прослушивания того же музыкального фона с временными характеристиками, аналогичными таковым в экспериментальной группе (этапы по 2.5, 5.0 и 2.5 мин) и наличием белого шума на первом и втором этапах, однако инструкции пытаться управлять характеристиками ЭЭГ не давали. Белый шум в течение всего времени был постоянным по громкости.

Согласно инструкции, испытуемые обеих групп должны были сидеть спокойно, с закрытыми глазами, стараясь достичь психического и физического расслабления. Те участники исследования, которые принадлежали к экспериментальной группе, могли достигать максимального расслабления более целенаправленно, ориентируясь на сигнал ОС.

По окончании исследования спектр ЭЭГ анализировали с использованием быстрых преобразований Фурье. Нормированную спектральную мощность ЭЭГ рассчитывали для следующих частотных диапазонов: 1–4 (δ -ритм), 4–8 (θ -ритм), 8–14 (α -ритм) и 14–30 (β -ритм) Гц. Полученные данные обрабатывали с помощью программы “STATISTICA”. В зависимости от вида распределений показателей применяли параметрические или непараметрические критерии сравнения. Остальные подробности методики были описаны ранее нами и другими авторами, использовавшими указанные экспериментальные парадигмы и приемы [14–16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В проведенных исследованиях были выявлены ряд изменений различных нейрофизиологических показателей под влиянием сеансов ЭЭГ-ОС или их имитации.

Предъявление испытуемым контрольной группы сложного акустического сигнала, которым является комбинация белого шума и музыкального фона, приводило к следующим наиболее выраженным изменениям частотного паттерна ЭЭГ. В обоих полушариях мощность α -ритма обычно снижалась; такое уменьшение достигало к концу сеансов статистически значимого уровня (табл. 1; рис. 1, А). Данный факт можно объяснить развитием реакции десинхронизации под действием предъявления экстрасимула (комбинации белого шума и музыкального фона на первом и втором этапах сеанса или только музыкального фона на третьем этапе). Иными словами, изменения α -ритма в этой группе

Т а б л и ц а 1. Значения средней спектральной мощности ($M \pm m$, мкВ²/Гц) в пределах частотных диапазонов ЭЭГ в контрольной группе ($n = 33$)**Т а б л и ц я 1. Значения середньої спектральної потужності ($M \pm m$, мкВ²/Гц) у межах частотних діапазонів ЕЕГ у контрольній групі ($n = 33$)**

Ритмы ЭЭГ	1-й этап музыкальный фон + белый шум	2-й этап музыкальный фон + белый шум	3-й этап музыкальный фон
1-й сеанс			
δs	7.31±0.86	7.36±0.85	7.61±0.92
θs	6.47±0.87	6.68±1.02	6.27±0.89
αs	16.39±2.76	14.56±2.64	13.59±2.69*
βs	1.48±0.14	1.37±0.14*	1.28±0.14***
δd	7.16±0.82	7.18±0.78	7.42±0.86
θd	6.44±0.91	6.54±1.04	6.19±0.95
αd	15.83±2.67	14.05±2.49	13.08±2.53 *
βd	1.45±0.14	1.33±0.14**	1.24±0.13***
2-й сеанс			
δs	7.74±0.71	7.49±0.69	6.87±0.63
θs	7.36±1.01**	7.09±1.17	6.19±0.91
αs	17.79±2.84	15.36±2.72	13.73±2.66
βs	1.68±0.16	1.48±0.14	1.35±0.13
δd	7.44±0.64	7.09±0.62	6.57±0.59
θd	6.89±0.87	6.54±0.95	5.75±0.77
αd	16.63±2.63	13.99±2.24	12.44±2.27*
βd	1.59±0.14	1.39±0.12	1.26±0.11*
3-й сеанс			
δs	8.37±1.05	8.47±1.44	7.72±0.99
θs	7.34±0.88	7.48±1.13	6.79±1.04
αs	16.49±2.47	14.13±2.13	11.65±1.89*
βs	1.65±0.17	1.51±0.17	1.42±0.18
δd	8.27±1.06	8.41±1.42	7.71±1.02
θd	7.21±0.88	7.26±1.08	6.61±1.01
αd	14.87±2.22	12.78±1.92	10.68±1.76*
βd	1.67±0.19	1.54±0.19	1.45±0.20

П р и м е ч а н и я. Индексами «s» и «d» указаны отведения от левого и правого полушарий соответственно. Звездочками отмечены значения, достоверно отличающиеся от исходных показателей (первый сеанс, первый этап): * $P > 0.05$, ** $P > 0.01$, *** $P > 0.001$.

в значительной мере не соответствовали желаемым. На протяжении первого и второго сеансов у испытуемых данной группы отмечалось также существенное снижение мощности β -ритма, однако затем его мощность возвращалась к исходному уровню.

В ходе первого сеанса ЭЭГ-ОС у испытуемых экспериментальной группы наблюдалось статистически значимое уменьшение мощности исследованных ритмов ЭЭГ в пределах второго и третьего этапов упомянутого сеанса по сравнению с исходным, первым, этапом (табл. 2; рис. 1, Б). В то же время проявлялась тенденция к увеличению от сеанса к сеансу мощности α -ритма в период одноименных этапов сеанса, особенно выраженная в правом полушарии. Так, если на протяжении первого этапа первого сеанса у испытуемых данной группы мощ-

ность α -ритма в правом полушарии была несколько ниже, чем в левом, то под действием ЭЭГ-ОС асимметрия указанного ритма становилась противоположной – мощность α -ритма становилась выше в правом полушарии. У испытуемых контрольной группы подобных изменений асимметрии распределения мощности α -ритма не выявлялось. Поскольку ситуацию, когда отмечается пониженная мощность α -ритма в правом полушарии по сравнению с левым, связывают с состоянием депрессии, повышенной тревожностью и преобладанием негативных эмоций [1, 2, 17], можно полагать, что наблюдаемые в нашем исследовании изменения межполушарной асимметрии отражали некоторую тенденцию к улучшению психоэмоционального состояния испытуемых под влиянием ЭЭГ-ОС.

Т а б л и ц а 2. Значения средней спектральной мощности ($M \pm m$, мкВ²/Гц) в пределах частотных диапазонов ЭЭГ в экспериментальной группе ($n = 37$)

Т а б л и ц я 2. Значения середньої спектральної потужності ($M \pm m$, мкВ²/Гц) у межах частотних діапазонів ЕЕГ в експериментальній групі ($n = 37$)

Ритмы ЭЭГ	1-й этап музыкальный фон + белый шум	2-й этап ориентировка на сигнал обратной связи (громкость белого шума)	3-й этап музыкальный фон (период последствия сеанса)
1-й сеанс			
δ s	7.11±0.65	6.58±0.51*	6.31±0.53*
θ s	6.32±0.63	6.05±0.59	5.89±0.62**
α s	15.92±2.02	14.30±1.82***	13.20±1.68**
β s	1.81±0.20	1.73±0.19*	1.65±0.19***
δ d	7.21±0.69	6.78±0.59	6.38±0.58*
θ d	6.54±0.75	6.27±0.69	5.93±0.63**
α d	15.57±1.79	14.01±1.68**	12.68±1.45***
β d	1.83±0.18	1.73±0.18**	1.65±0.17***
2-й сеанс			
δ s	6.05±0.69	5.79±0.58	5.83±0.64
θ s	6.36±0.89	5.71±0.69	5.37±0.64**
α s	15.93±2.65	14.38±2.36	13.32±2.04
β s	1.54±0.19	1.43±0.18**	1.45±0.18*
δ d	5.99±0.71	5.92±0.64	5.99±0.72
θ d	6.15±0.82	5.79±0.71	5.57±0.72
α d	16.15±2.74	14.92±2.49	13.94±2.19
β d	1.51±0.19	1.41±0.18**	1.44±0.17***
3-й сеанс			
δ s	6.52±0.85	5.99±0.69	6.53±1.04
θ s	6.77±1.17	5.98±0.88	5.65±0.87
α s	17.05±2.76	14.61±2.29	13.14±2.32
β s	1.42±0.22*	1.29±0.19**	1.25±0.20***
δ d	6.45±0.83	5.96±0.78	5.62±0.50*
θ d	6.74±1.04	5.92±0.76	5.38±0.67
α d	17.86±2.95	15.51±2.46	13.49±2.21
β d	1.42±0.21*	1.32±0.19**	1.26±0.19***

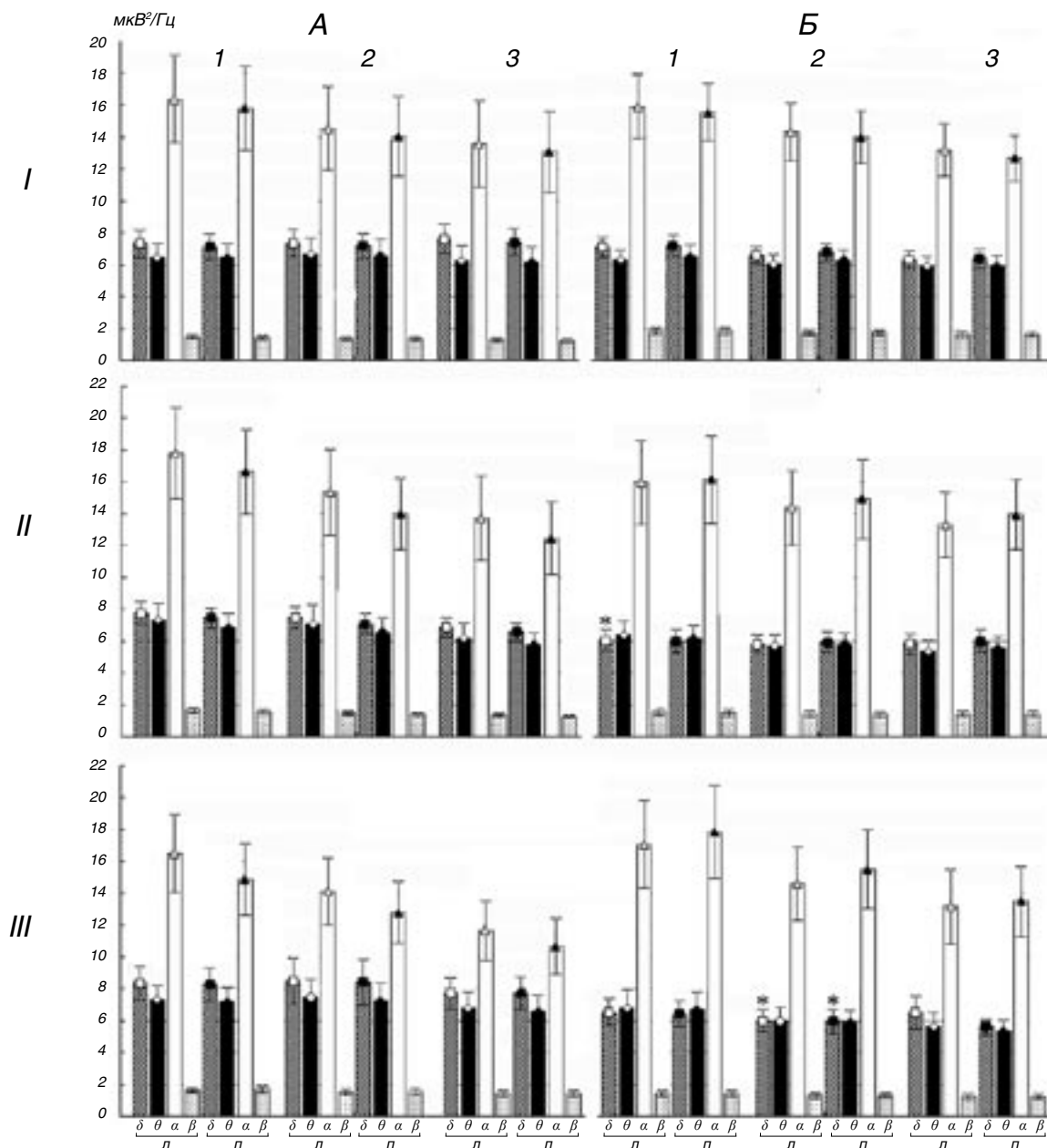
Пр и м е ч а н и е. Обозначения те же, что и в табл. 1.

Паттерны ЭЭГ экспериментальной и контрольной групп различались также по динамике мощности β-ритма. Считается, что повышенная мощность β-ритма выявляется у лиц, переживающих состояние стресса, и это может сопутствовать развитию разнообразных вегетативных сдвигов [18]. У испытуемых экспериментальной группы отмечалось уменьшение мощности β-ритма не только на протяжении отдельного сеанса ЭЭГ-ОС, но и от сеанса к сеансу. Это может быть связано с некоторым снижением у данных лиц уровня напряженности по сравнению с испытуемыми контрольной группы.

Указанные различия между нормированными мощностями ритмов ЭЭГ у испытуемых контрольной и экспериментальной групп, как правило, не достигали уровня статистической значимости

(рис. 1). Это обстоятельство, вероятно, связано с ограниченным количеством сеансов, что не позволяло наблюдаемым тенденциям перерасти в четкие сдвиги. Достоверно различалась у участников исследования, принадлежащих к разным группам, лишь мощность δ-ритма, которая в процессе α/θ-тренинга значительно снижалась. Мы предполагаем, что привлечение внимания испытуемых экспериментальной группы к акустическому сигналу ОС поддерживало у них определенный уровень общей церебральной активации. У испытуемых контрольной группы данный уровень колебался в большей степени, и его снижение могло сопровождаться большей мощностью δ-ритма ЭЭГ.

В связи с ориентацией тренингов ЭЭГ-ОС на увеличение соотношения мощностей α- и θ-рит-



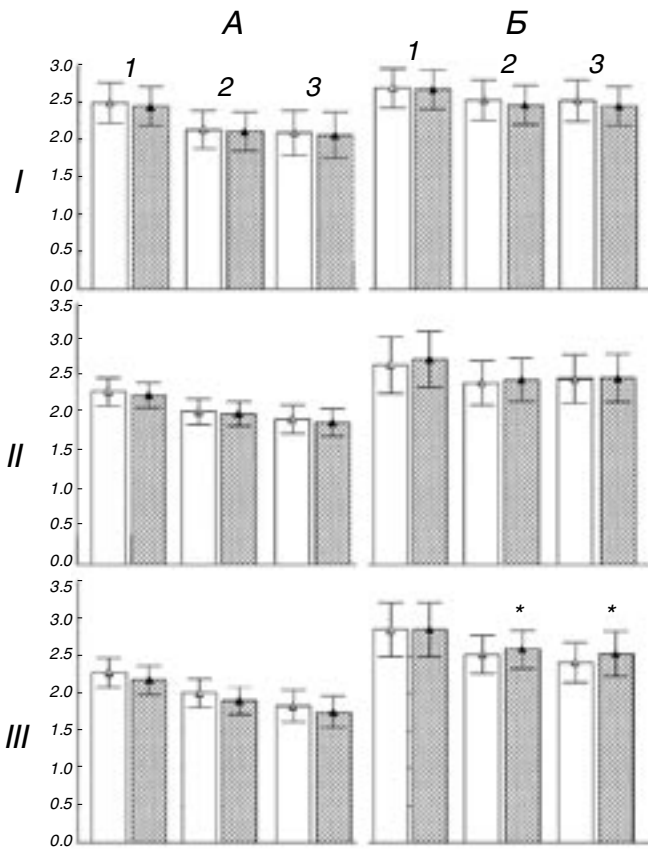
Р и с. 1. Спектральная мощность ($\text{mkB}^2/\text{Гц}$) δ -, θ -, α - и β -ритмов ЭЭГ, зарегистрированных в центральных отведениях от левого (*л*) и правого (*п*) полушарий испытуемых на протяжении контрольной серии исследований (*A*) и при проведении трех сеансов обратной связи по характеристикам ЭЭГ (*B*).

I–III – три последовательных сеанса или их имитации, состоящие из трех этапов (*1–3*); см. текст. Указаны значения средних по группе \pm ошибка среднего. Звездочками отмечены случаи значимых ($P < 0.05$) отличий от показателей контрольной группы.

Р и с. 1. Спектральна потужність ($\text{mkB}^2/\text{Гц}$) δ -, θ -, α - та β -ритмів ЕЕГ, зареєстрованих у центральних відведеннях від лівої (*л*) і правої (*п*) півкуль випробуваних протягом контрольної серії досліджень (*A*) і при проведенні трьох сеансів зворотного зв'язку за характеристиками ЕЕГ (*B*).

мов особый интерес представляло сопоставление динамики этого показателя у испытуемых обеих групп. Исходная величина данного соотношения у членов экспериментальной группы была в среднем

несколько выше, чем в контрольной группе (рис. 2), хотя указанные различия и не достигали уровня статистической значимости. Возможно, данный факт связан с определенным эмоциональным



настроем и большей концентрацией внимания тестируемых, входящих в состав экспериментальной группы и ожидающих начала сеанса ЭЭГ-ОС. На протяжении всех трех сеансов ЭЭГ-ОС соотношение мощностей α - и θ -ритмов в обоих полушариях у испытуемых как контрольной, так и экспериментальной группы в целом снижалось, т. е. в экспериментальной группе, как уже отмечалось, эффект после трех сеансов был противоположен ожидаемому. Однако уменьшение данного соотношения у испытуемых экспериментальной группы было менее значительным, чем у участников исследования, принадлежащих к контрольной группе. Особенно велики были различия между соотношением мощностей α - и θ -ритмов у испытуемых обеих групп в правом полушарии. Здесь указанное соотношение у испытуемых экспериментальной группы к концу третьего сеанса не только становилось большим, чем в левом полушарии, но и статистически значимо превышало данный индекс в правом полушарии у испытуемых контрольной группы. Очевидно, что выявленные различия значений этого показателя у испытуемых двух групп могут быть связаны лишь с целенаправленными попытками испытуе-

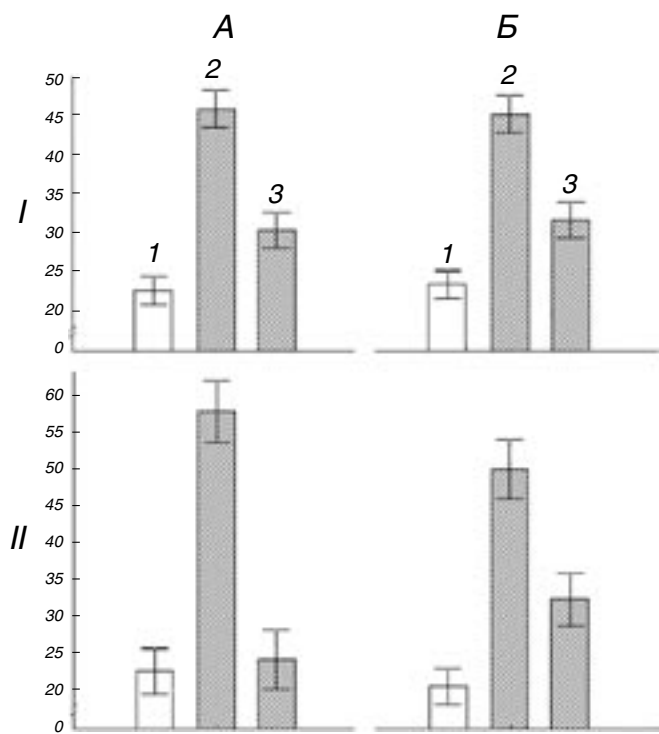
Р и с. 2. Соотношение спектральных мощностей α - и θ -ритмов ЭЭГ, зарегистрированных в центральных отведениях на протяжении контрольной серии исследований (А) и при проведении трех сеансов обратной связи по характеристикам ЭЭГ (Б). Белые столбики – значения для левого, заштрихованные – для правого полушария. Остальные обозначения те же, что и на рис. 1.

Р и с. 2. Співвідношення спектральних потужностей α - і θ -ритмів ЕЕГ, зареєстрованих у центральних відведеннях протягом контрольної серії досліджень (А) і при проведенні трьох сеансів зворотного зв'язку за характеристиками ЕЕГ (Б).

мых экспериментальной группы повысить упомянутое соотношение и параллельно снизить психоэмоциональную напряженность, достичь моторной и психической релаксации.

Таким образом, резюмируя результаты анализа динамики паттерна текущей ЭЭГ-активности на протяжении начального этапа серии сеансов α/θ -тренинга, можно заключить, что уже три подобных сеанса ЭЭГ-ОС достаточны для достижения значимых изменений спектрального паттерна ЭЭГ; это выражается прежде всего в относительном (по сравнению с контрольной группой) увеличении соотношения мощностей α - и θ -ритмов. Данные изменения выявляются несмотря на то, что их существенно маскируют значительные сдвиги ЭЭГ-активности в обеих группах, происходящие под влиянием сложных акустических сигналов, а также большие интериндивидуальные различия в рисунке ЭЭГ у разных участников исследования. Полученные нами результаты согласуются со сделанными ранее заключениями о недостаточной эффективности однократных сеансов ЭЭГ-ОС для достижения значимых сдвигов паттерна текущей ЭЭГ [14, 16]. Можно предполагать, что эффективная серия α/θ -тренингов для большинства здоровых испытуемых должна состоять как минимум из трех сеансов.

В условиях отмеривания временных интервалов все варианты выполнения такого теста можно было разделить на три неравные группы: попадание в заданный интервал (19–21 с), нажатия, опережающие нужный момент (меньше 19 с), и запаздывающие (больше 21 с) нажатия. В периодах последствия как сеансов ЭЭГ, так и их имитации происходили изменения количественного соотношения реакций данных типов, что обычно проявлялось в тенден-



Р и с. 3. Количественные соотношения (%) величин временных интервалов, отмечаемых испытуемыми контрольной (А) и экспериментальной (Б) групп до (I) и после (II) проведения трех сеансов обратной связи по характеристикам ЭЭГ или их имитаций.

I – интервалы меньше заданных (<19 с), 2 – успешные попадания в заданный интервал (19–21 с), 3 – интервалы больше заданных (>21 с). Остальные обозначения те же, что и на рис. 1.

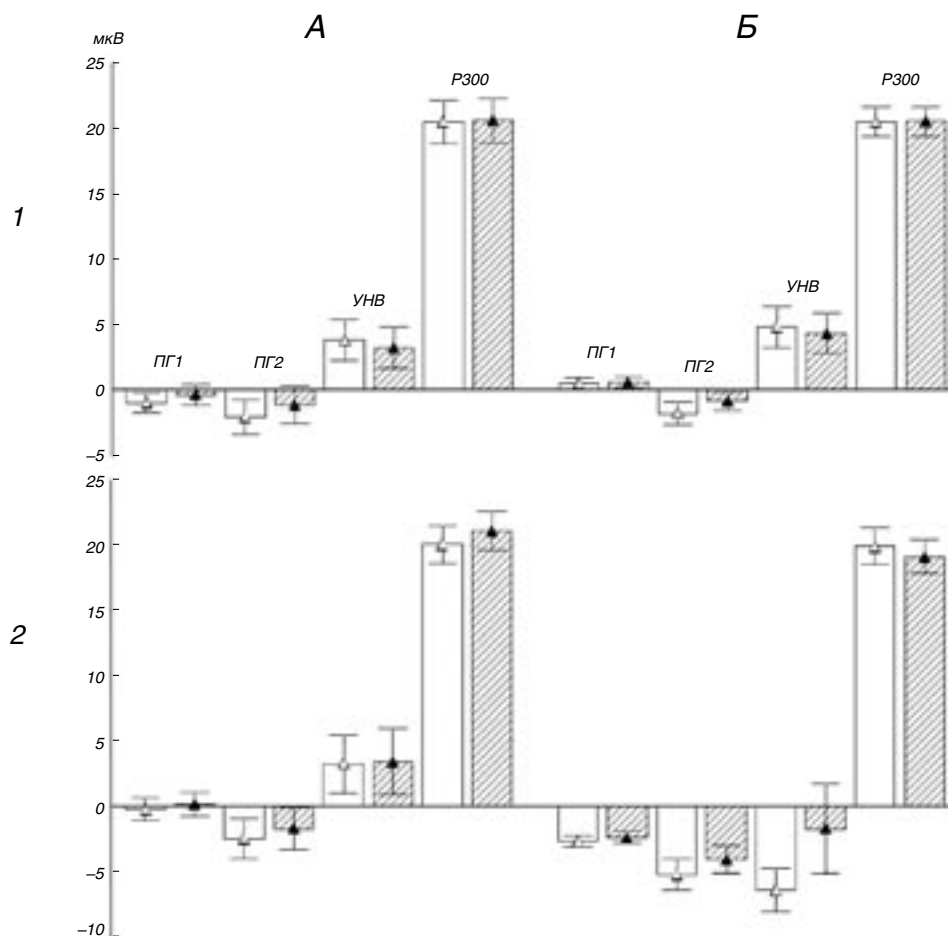
Р и с. 3. Кількісні співвідношення (%) величин часових інтервалів, відмірюваних випробуваними контрольною (А) та експериментальною (Б) груп до (I) і після (II) проведення трьох сеансів зворотного зв'язку за характеристиками ЕЕГ або їх імітацій.

ции к увеличению количества попаданий в заданный интервал (рис. 3). Из рис. 3 видно, что такие сдвиги наблюдались у испытуемых как экспериментальной, так и контрольной группы. Очевидно, что улучшение выполнения поставленной задачи при повторном выполнении задания в обеих группах происходило за счет процесса обучения. Однако улучшение выполнения задания у испытуемых экспериментальной группы было выражено в меньшей степени, чем в контрольной группе. Данный факт явился для нас несколько неожиданным, поскольку ранее мы отмечали улучшение показателей сенсо-моторной реакции в последствии α/θ -тренинга [14]. Можно предположить, что достигаемое испытуемыми в ходе сеансов ЭЭГ-ОС состояние расслабления благоприятствовало выполнению относительно несложных задач (реализации простой сенсо-моторной реакции), но не способствовало выполнению более сложной задачи – внутреннего отмеривания временных интервалов. В связи с усилением состояния релаксации в периоды последствия сеансов ЭЭГ-ОС у испытуемых, вероятно, проявлялась склонность отметить больший временной интервал, и они запаздывали со своевременным нажатием на кнопку. При этом, однако, наблюдалась отрицательная корреляция между величиной отношения мощностей α - и θ -ритмов

в левом полушарии у испытуемых экспериментальной группы на протяжении завершающего этапа третьего сеанса ЭЭГ-ОС и длительностью отмеряемого в последствии данного сеанса временного интервала ($r = -0.41$ при $P = 0.01$). Имелась также достаточно выраженная тенденция к положительной корреляции указанного соотношения мощностей ритмов и количеством попаданий в заданный интервал ($r = 0.30$ при $P = 0.07$). Иными словами, те участники экспериментальной группы, которые достигали не только расслабления, но и высокого соотношения мощностей α - и θ -ритмов, лучше справлялись с задачей отмеривания временных интервалов, меньше запаздывая с моторной реакцией (нажатием на кнопку) по сравнению с другими членами своей группы.

У испытуемых контрольной группы в период последствия имитации сеансов ЭЭГ-ОС существенных изменений амплитуд ССП не наблюдалось; амплитуда раннего компонента ПГ (ПГ1) в среднем несколько уменьшалась (рис. 4). У испытуемых же экспериментальной группы в последствии сеансов ЭЭГ-ОС амплитуда обоих компонентов ПГ значительно увеличивалась. Превышение амплитуды ПГ1 по сравнению с величиной данного параметра в контрольной группе было статистически значимым в обоих полушариях. Как полагают, ранняя часть ПГ генерируется преимущественно нейронными сетями дополнительной моторной области коры, а поздняя – сетями первичной моторной области [19]. Тот факт, что под влиянием сеансов ЭЭГ-ОС происходило преобладающее увеличение амплитуды ПГ1, может свидетельствовать об улучшении баланса возбуждения и торможения именно в дополнительной моторной области.

Средняя амплитуда УНВ увеличивалась в обоих полушариях также лишь у испытуемых экспе-



Р и с. 4. Амплитуды раннего и позднего компонентов потенциала готовности (*ПП1* и *ПП2* соответственно), условной негативной волны (*УНВ*) и волны *Р300*, зарегистрированных в центральных отведениях до (1) и после (2) контрольной серии исследований (А) и при проведении трех сеансов обратной связи по характеристикам ЭЭГ (Б).

Р и с. 4. Амплітуди раннього і пізнього компонентів потенціалу готовності (*ПП1* і *ПП2* відповідно), умовної негативної хвилі (*УНВ*) і хвилі *Р300*, зареєстрованих у центральних відведеннях до (1) і після (2) контрольної серії досліджень (А) і при проведенні трьох сеансів зворотного зв'язку за характеристиками ЕЕГ (Б).

риментальной группы, причем различия между средними значениями амплитуды УНВ в левом полушарии, зарегистрированными в двух рассматриваемых группах, достигали уровня статистической значимости. Известно [13], что генерация УНВ тесно связана с такими психическими процессами, как ожидание релевантного сигнала и напряжение внимания. В условиях нашей экспериментальной парадигмы УНВ представляла собой фактически так называемую престаимульную негативность [20], поскольку данный потенциал развивался в период, психологическим содержанием которого являлось ожидание испытуемыми сигнала ОС, информирующего об успешности/неуспешности выполнения

отсчета времени. Можно предположить, что возрастание амплитуды УНВ в период последствия сеансов ЭЭГ-ОС свидетельствует о протекании в ЦНС человека неких процессов, благоприятствующих решению сложной когнитивной задачи, несмотря на достигнутое состояние психофизиологического расслабления.

Амплитуда потенциала Р300 у испытуемых и экспериментальной, и контрольной группы изменялась в условиях настоящих тестов незначительно.

В связи с тем, что по крайней мере такие потенциалы, как ПГ и УНВ, значительно изменялись в последствии α/θ -тренинга, мы проанализировали у испытуемых экспериментальной группы связи

между амплитудой компонентов ССП и достигнутым к окончанию третьего сеанса значением соотношения мощностей α - и θ -ритмов. Амплитуда позднего компонента ПГ (ПГ2) в левом полушарии значимо коррелировала с отношением мощностей указанных ритмов в правом полушарии ($r = 0.39$ при $P = 0.03$). Амплитуда УНВ в левом полушарии в равной степени коррелировала с отношением мощностей α - и θ -ритмов в обоих полушариях ($r = 0.37$ при $P = 0.04$). Амплитуда потенциала P300 в левом полушарии также была положительно и в высокой степени значимо ($P = 0.01$) связана с указанными соотношениями мощностей в левом и правом полушариях ($r = 0.50$ и 0.47 соответственно), а амплитуда потенциала P300 в правом полушарии положительно коррелировала с соотношением упомянутых ритмов в левом ($r = 0.48$ при $P = 0.01$) и правом ($r = 0.43$ при $P = 0.02$) полушариях. Таким образом, чем выше было достигнутое отношение спектральных мощностей α - и θ -ритмов в процессе ЭЭГ-ОС-тренинга, тем большей была амплитуда компонентов ССП, наблюдаемых у испытуемых экспериментальной группы в процессе выполнения задачи по отсчету времени. Указанная зависимость отражает установленный факт положительной связи амплитуд ПГ, УНВ и потенциала P300 со степенью выраженности α -ритма и соотношением мощности данного частотного компонента ЭЭГ с мощностями других ритмов [21].

Полученные данные позволяют высказать предположение о некоторых механизмах, лежащих в основе эффектов ЭЭГ-ОС. Известно [13], что амплитуда различных компонентов ССП в целом определяется церебральными механизмами, регулирующими уровень возбудимости неокортекса. Поверхностная негативность или позитивность неокортекса отражает соответственно снижение или повышение возбудимости кортикальных пирамидных нейронов, в значительной степени связанные с соответствующими изменениями мембранного потенциала апикальных дендритов этих клеток. Полагают, что одним из важнейших процессов в головном мозгу является циркуляция возбуждения в нейронных цепях неокортекса – стриатум – ретикулярное ядро таламуса – медиальные неспецифические ядра таламуса – апикальные дендриты нейронов коры. Данные цепи находятся под контролем аминергических нейромодуляторных систем. Таким образом, рост амплитуды ССП, наблюдаемый в периоды последствия сеансов ЭЭГ-ОС и выявленный в настоящем исследовании, может в боль-

шой мере определяться изменениями возбудимости нейронов неокортекса при перестройке влияний, оказываемых стволовыми системами аминергической природы на упомянутые корково-подкорковые цепи. Результаты экспериментов с одновременным отведением импульсной активности аминергических нейронов ствола мозга и ЭЭГ-активности, выполненных в нашей лаборатории на бодрствующих животных (кошках) [22], также свидетельствуют в пользу подобного предположения. Корреляционный анализ показал наличие тесных положительных связей между частотами фоновой импульсной активности большинства норадренергических нейронов области *locus coeruleus* и серотонинергических нервных клеток области ядер шва, с одной стороны, и мощностями основных ЭЭГ-ритмов – с другой.

Логично предположить, что изменение функционального состояния человека в процессе ЭЭГ-ОС-тренинга, направленное на снижение психоэмоциональной напряженности и достижение моторной и психической релаксации, протекает в тесной взаимосвязи с перестройкой активности аминергических систем ствола мозга и изменениями частотного паттерна ЭЭГ. Таким образом, результаты нашего исследования могут рассматриваться как свидетельства в поддержку гипотезы, согласно которой эффекты подобных тренингов являются результатом перестройки влияний неспецифических стволовых систем аминергической природы на нейроны церебральных механизмов, регулирующих уровень возбудимости неокортекса [12].

О. Г. Трібрам¹, Д. Г. Губкіна¹, В. Б. Павленко¹

ДИНАМІКА БЕГ-ПОТЕНЦІАЛІВ НА ПОЧАТКУ СЕРІЇ СЕАНСІВ ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ ЗА ХАРАКТЕРИСТИКАМИ БЕГ

¹Таврійський національний університет ім. В. І. Вернадського, Сімферополь (АР Крим, Україна).

Резюме

У 70 здорових випробуваних, розділених на експериментальну ($n = 37$) і контрольну ($n = 33$) групи, досліджували зміни амплітуд компонентів пов'язаних з подіями БЕГ-потенціалів (ППП) і спектрів потужності поточної БЕГ у перебігу проведення серії з трьох сеансів зворотного зв'язку (ЗЗ) за її характеристиками (БЕГ-ЗЗ), орієнтованих на збільшення відношення потужності α -ритму до потужності θ -ритму. Сигналом ЗЗ слугувала гучність білого шуму, поєднаного з

музичним фоном. Вона зменшувалася при збільшенні згаданого відношення; у контрольній групі ця гучність лишалася незмінною. ЕЕГ-потенціали відводили в точках С3 та С4. ППП реєстрували в парадигмі відмірювання часових інтервалів. У перебігу серії сеансів ЕЕГ-33 відношення потужностей α - та θ -ритмів у випробуваних як контрольної, так і експериментальної групи дещо знижувалося, проте у випробуваних експериментальної групи зменшення цього відношення було менш значним, і до закінчення третього сеансу в правій півкулі даний індекс статистично значуще перевищував відповідний показник у контрольній групі. Після сеансів ЕЕГ-33 виявлялося також значуще збільшення амплітуд раннього компонента потенціалу готовності в обох півкулях та умовної негативної хвилі в правій півкулі. Згідно зі зробленим нами висновком, кількість сеансів α/θ -тренінгу в ефективній серії, яка призводить до зміни патерну ЕЕГ-потенціалів у більшості здорових випробуваних, може становити як мінімум три.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И. Г. Калашникова, "Индивидуально-типологические особенности ЭЭГ-коррелятов эмоциональных реакций человека", *Физиол. журн. им. И. М. Сеченова*, **81**, № 10, 108-112 (1995).
2. М. Б. Костюнина, М. А. Куликов, "Частотные характеристики спектров ЭЭГ при эмоциях", *Журн. высш. нерв. деятельности*, **45**, № 3, 453-457 (1995).
3. Н. J. Crawford, S. W. Clarke, and M. Kitner-Triolo, "Self-generated happy and sad emotions in low and highly hypnotizable persons during waking and hypnosis: laterality and regional EEG activity differences," *Int. J. Psychophysiol.*, **24**, No. 3, 239-266 (1996).
4. М. Б. Костюнина, "Электроэнцефалограмма человека при мысленном представлении эмоционально окрашенных событий", *Журн. высш. нерв. деятельности*, **48**, № 2, 213-221 (1998).
5. С. М. Krause, V. Viemero, A. Rosenqvist, et al., "Relative electroencephalographic desynchronization and synchronization in humans to emotional film content: an analysis of the 4-6, 6-8, 8-10 and 10-12 Hz frequency bands," *Neurosci. Lett.*, **286**, No. 1, 1-4 (2000).
6. L. I. Aftanas, N. V. Reva, A. A. Varlamov, et al., "Analysis of evoked EEG synchronization and desynchronization in conditions of emotional activation in humans: temporal and topographic characteristics," *Neurosci. Behav. Physiol.*, **34**, No. 8, 859-867 (2004).
7. K. Rice, E. Blanchard, and M Purcell, "Biofeedback treatments of generalized anxiety disorder: preliminary results," *Biofeedback Self-Regulat.*, **18**, No. 2, 93-105 (1993).
8. С. И. Сороко, Т. Ж. Мусуралиев, "Возможности направленных перестроек параметров ЭЭГ у человека с помощью метода адаптивного биоуправления", *Физиология человека*, **21**, № 5, 5-17 (1995).
9. D. C. Hammond, "Treatment of chronic fatigue syndrome with neurofeedback and self-hypnosis: a case report," *J. Neurother.* (<http://www.isnr.org>), **3**, No. 4, (1999).
10. В. Л. Тюнин, В. Б. Павленко, "Коррекция неблагоприятных эффектов напряженной работы на компьютере с помощью электроэнцефалографической обратной связи", *Пробл., достижения и перспективы развития мед.-биол. наук и практ. здравоохранения*, **140**, № 3, 174-178 (2004).
11. В. Sterman, "Physiological origins and functional correlates of EEG rhythmic activities: implication for self-regulation," *Biofeedback Self-Regulat.*, **21**, No. 1, 3-33 (1996).
12. J. F. Lubar, "Neocortical dynamics: implication for understanding the role of neurofeedback and related techniques for the enhancement of attention," *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*, **22**, No. 2, 111-126 (1997).
13. N. Birbaumer, T. Elbert, A. Canavan, and B. Rocstron, "Slow potentials of the cerebral cortex and behaviour," *Physiol. Rev.*, **70**, No. 1, 1-41 (1990).
14. В. Б. Павленко, И. Н. Конарева, Е. С. Шутова, С. В. Черный, "Использование электроэнцефалографической биообратной связи для коррекции психофизиологического статуса человека", *Тавр. мед.-биол. вестн.*, **4**, № 4, 56-60 (2001).
15. В. Б. Павленко, И. Н. Конарева, "Индивидуальные особенности связанных с событиями потенциалов при продуцировании временных интервалов", *Нейрофизиология/Neurophysiology*, **32**, № 1/2, 48-55 (2000).
16. И. Н. Конарева, "Изменение частотного паттерна ЭЭГ человека при однократном сеансе биологической обратной связи по ее характеристикам", *Нейрофизиология/Neurophysiology*, **37**, № 5/6, 443-451 (2005).
17. D. C. Hammond, "Neurofeedback with anxiety and affective disorders," *Child Adolesc. Psychiat. Clin. North Am.*, **14**, No. 1, 105-123 (2005).
18. Е. А. Жирмунская, *Функциональная взаимозависимость больших полушарий мозга человека: Статистический анализ электроэнцефалограмм при мозговом инсульте*, Наука, Москва (1989).
19. R. Q. Cui and L. Deecke, "High resolution DC-EEG analysis of the Bereitschaftspotential and post movement onset potentials accompanying uni- or bilateral voluntary finger movements," *Brain Topogr.*, **11**, No. 3, 233-249 (1999).
20. E. J. P Damen and C. H. M. Brunia, "Changes in heart rate and slow brain potentials related to motor preparation and stimulus anticipation in a time estimation task," *Psychophysiology*, **24**, No. 6, 700-713 (1987).
21. И. Н. Конарева, В. Б. Павленко, "Взаимосвязь ритмической активности коры мозга, вызванных потенциалов и характеристик личности", *Учен. зап. ТНУ*, **14 (53)**, № 3, 11-15 (2001).
22. О. И. Колотилова, А. М. Куличенко, Ю. О. Фокина и др., "Влияние ствольных структур головного мозга на паттерн массовой электрической активности бодрствующих кошек", *Учен. зап. ТНУ*, **18 (57)**, № 2, 34-42 (2005).