

Кумулятивный эффект нейробиоуправления по показателям индексов фоновой электроэнцефалограммы спортсменов с доминированием метаболического модулятора сердечного ритма

Еремеева О.В., Кормилец В.С., Еремеев С.И.

The neurobiofeedback cumulative effect on the electroencephalographic indexes in the high qualified athletes with the dominance of metabolic modulation of heart rate variability

Yeremeyeva O.V., Kormilez V.S., Yeremeyev S.I.

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск

© Еремеева О.В., Кормилец В.С., Еремеев С.И.

Представлено исследование динамики индексов электроэнцефалограммы под влиянием нейробиоуправления у спортсменов. Изучен кумулятивный эффект нейробиоуправления по спектральной мощности α -ритма в отведении С3—А1 на индексы электроэнцефалограммы у спортсменов высокой квалификации. Обнаружены генерализованные изменения индексов электроэнцефалограммы и реорганизация сильных межцентровых связей во всех стандартных частотных диапазонах по всей конвексальной поверхности мозга.

Ключевые слова: спортивная медицина, мозг, индексы, вариабельность ритма сердца, нейробиоуправление.

The aim was to investigate the electroencephalography indexes dynamic caused by neurofeedback in athletes. The main results are that the neurobiofeedback cumulative effect on the electroencephalographic indexes in the high qualified athletes with the dominance of metabolic modulation of heart rate variability is carried out. The conclusions are that the interlobar reciprocal actions reorganization in a brain and the general changing of quantitative electroencephalogram indexes of all standard diapasons of frequency are revealed both in the locus of biofeedback control and overall brain convex surface.

Key words: Sport medicine, brain, indexes, heart rate variability, neurobiofeedback.

УДК 612.172.2:577.25:577.171.55:796.071

Введение

Диагностика и регуляция состояния здоровья и функционального состояния спортсменов является одной из центральных проблем в современной спортивной медицине [7]. Функциональное состояние человека может быть описано как «специфические типы связей осцилляторных процессов на центральном и периферическом уровнях» [2]. Периферический уровень представлен сердечным ритмом, который находится под модулирующим контролем как минимум трех ритмически работающих осцилляторов, поэтому в его спектре обычно выделяют три зоны частотной модуляции периода сердечного цикла: метаболическую, сосудистую и дыхательную. Центральный уровень представлен ритмической активностью головно-

го мозга [2]. Регуляция функционального состояния нервной системы спортсменов возможна посредством нейробиоуправления [9]. Исследователи отмечают диагностическую ценность анализа количественных электроэнцефалограмм (ЭЭГ) у спортсменов для оценки их функционального состояния в соревновательном периоде [3] и при развитии локального мышечного утомления [8]. Актуальность исследования обусловлена тем, что недостаточно подробно изучено воздействие восстановительного лечения посредством нейробиоуправления на функциональное состояние спортсменов с повышенным уровнем влияния метаболического модулятора сердечного ритма и фрагментарны сведения об особенностях связи осцилляторных процессов на центральном и периферическом уровнях в указанной группе спортсменов.

Цель исследования — изучить особенности кумулятивного эффекта нейробиоуправления по данным о величине индексов фоновой электроэнцефалограммы и корреляции межцентральной активности мозга во времени у спортсменов с доминированием метаболического модулятора сердечного ритма.

Материал и методы

Перспективное одноцентровое исследование выполнено по доэкспериментальному дизайну [5]. Участники исследования проходили предварительное тестирование, воздействие и итоговое тестирование (ре-тест). Критерии включения в исследование: активно тренирующиеся спортсмены различных специализаций, квалификация от 1-го разряда и выше, возраст от 17 до 27 лет, состояние здоровья соответствует 1—3-й медицинской группе, пол — любой, ритм сердца синусовый, воздержание от приема возбуждающих напитков более 8 ч, от курения — 3 ч, сон более 7 ч. Критерии исключения из исследования: возраст менее 17 и более 27 лет; более 10% экстрасистол, несинусовый ритм сердца; таламический, стволовой тип ЭЭГ, ЭЭГ с признаками диффузного поражения мозга, поражения срединных структур и ствола мозга, поражения срединных или глубинных структур полушарий, признаки поверхностного фокуса поражения мозга [4].

Экспериментальную группу составили 30 спортсменов (22 мужчины и 8 женщин), у которых доля метаболического модулятора в общей мощности спектра превышала уровень верхнего квартиля относительной спектральной мощности сердечного ритма в диапазоне очень низкой частоты — 42% у лиц женского пола и 45% у лиц мужского пола. Спортивную специализацию «лыжные гонки» имели 9 человек, «биатлон» — 5, «хоккей с шайбой» — 5, «рукопашный бой» — 4, «волейбол» — 3, «плавание» — 2, «бокс» — 2 спортсмена. Участники имели следующую спортивную квалификацию: мастер спорта международного класса — 1, мастер спорта — 14, кандидат в мастера спорта — 9, 1-й разряд — 6. Средний возраст участников исследования ($21,1 \pm 2,2$) года.

Оценка вариабельности ритма сердца (BPC) выполнялась в положении лежа при помощи электрокардиографа «Полиспектр-8 EX» и программного пакета «Поли-Спектр Ритм» (ООО «Нейрософт», г. Иваново). Запись ритма сердца и анализ проводили по протоколу коротких записей [6]. Оценка биоэлектрической

активности мозга (ЭЭГ) проводилась по стандартной методике при помощи 21-канального электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр-5» (ООО «Нейрософт», г. Иваново). Electroды располагались по международной схеме 10—20. В качестве референта (А) использовались Electroды на мочках ушей. Регистрация ЭЭГ проводилась в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами (фоновая ЭЭГ). Анализ индексов ритма, а не спектральной мощности или когерентности продиктован стремлением получить данные о закономерностях именно временной организации взаимодействия осцилляторов мозга, поскольку одним из информативных методов анализа состояния сложных систем считается анализ темпоральных паттернов [10]. Индексы усреднялись между участниками группы по отведениям. Поскольку при суммировании потенциалов разнонаправленные случайные отклонения сглаживаются пропорционально квадратному корню числа наблюдений [1], усредненные данные представляют собой типичный групповой признак и лучше подходят для выявления эффектов воздействия.

Участники исследования в своем тренировочном процессе получали восстановительное лечение в целях оптимизации функционального состояния (воздействие) в виде курса нейробиоуправления (НБУ) по спектральной мощности α -ритма в отведении С3—А1 электроэнцефалограммы между предварительным и итоговым тестированием. Сеансы НБУ проводились при помощи многоканального интерфейса биоуправления БИ-012. НБУ было направлено на увеличение спектральной мощности электроэнцефалограммы в диапазоне α -ритма. Курс НБУ состоял из 15 сеансов, проводившихся 1 раз в день микроциклами по 5 сеансов с перерывом на 2 дня [3].

Соответствие распределения нормальному закону оценивали по гистограммам распределения вариант в сравнении с величиной ожидаемого нормального распределения и с использованием *W*-теста Шапиро—Уилки. Наличие эффекта от курса нейробиоуправления устанавливали с использованием парного теста Вилкоксона при уровне значимости различий $p < 0,05$. Корреляционный анализ (линейная корреляция Пирсона) проводился между показателями индексов ЭЭГ попарно между 19 отведениями. Сильными считались связи с коэффициентом корреляции $r > 0,7$. В данном исследовании для всех видов анализа был принят критический уровень значимости $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Состояние осцилляторных процессов периферического уровня, выраженное в параметрах ВРС, до воздействия характеризовалось значимыми межиндивидуальными различиями. Частота сердечных сокращений (ЧСС) составляла $(69,8 \pm 12,0)$ мин⁻¹. Относительная спектральная мощность сердечного ритма в диапазоне очень низких частот (%VLF) составляла $(54,4 \pm 8,6)\%$; низкой частоты — $(31,1 \pm 9,0)\%$; высокой частоты (%HF) — $(14,5 \pm 6,6)\%$. Среди показателей кардиоинтервалографии средняя длительность кардиоинтервалов составила $(0,89 \pm 0,16)$ с, вариационный размах — $(0,20 \pm 0,10)$ с. Амплитуда моды составила $(50,50 \pm 14,97)\%$. Индекс напряжения $142,6 \pm 53,8$.

После воздействия курса нейробиоуправления произошло значимое ($p < 0,05$) уменьшение ЧСС — до $(60,4 \pm 10,0)$ мин⁻¹, относительной мощности %VLF — до $39,9 \pm 12,8$. Средняя величина %VLF вошла в диапазон интерквартильного размаха, но при этом в группе увеличились меры рассеивания признака. Воздействие вызвало значимое увеличение относительной спектральной мощности сердечного ритма в диапазоне HF — до $(23,0 \pm 13,4)\%$ и в диапазоне LF — до $(37,0 \pm 13,4)\%$. Среди первичных показателей кардиоинтервалографии увеличилась средняя продолжительность кардиоинтервалов до $(1,01 \pm 0,15)$ с. Среди вторичных показателей вариационной пульсометрии значимые различия до и после воздействия не обнаружены.

В фоновой электроэнцефалограмме спортсменов исследованной группы после воздействия росто-

роградный градиент индекса сгладился за счет повышения его в лобных и центральных отведениях ($p < 0,05$), что сочеталось с увеличением спектральной мощности ритма сердца в диапазоне высокой частоты, что ранее отмечалось как признак снижения стрессовой нагрузки [2].

После воздействия ростокаудальный градиент θ -индекса сгладился вследствие его повышения в лобных и центральных отведениях и понижения в центральных, париетальных и окципитальных отведениях ($p < 0,05$) до уровня 2—5%. Уменьшились до 50—55% и максимальные значения θ -индекса.

Средние значения α -индекса до воздействия имели заметный ростокаудальный градиент от 0% в лобных отведениях до 24% — в париетальных. В 75% наблюдений α -индекс в париетальных отведениях превышал 30%. Максимальное значение (70%) было отмечено в затылочных отведениях. После воздействия средние значения α -индекса значительно увеличились в полюсных лобных и лобных отведениях F3, F4, F8. Значимое уменьшение α -индекса наблюдалось в париетальных и окципитальных отведениях, а также в отведении T5. Ростокаудальный градиент сгладился в результате разнонаправленного изменения α -индекса. Увеличилась дисперсия индекса (рис. 1).

β_1 -Индекс (в диапазоне 13—18) значимо повысился в отведениях Fp1, Fp2, F3, Fz, F8, T3, C3, T6. Значимое уменьшение было отмечено в затылочных отведениях и в отведении T5. В результате уменьшился ростокаудальный градиент по β -индексу (рис. 2).

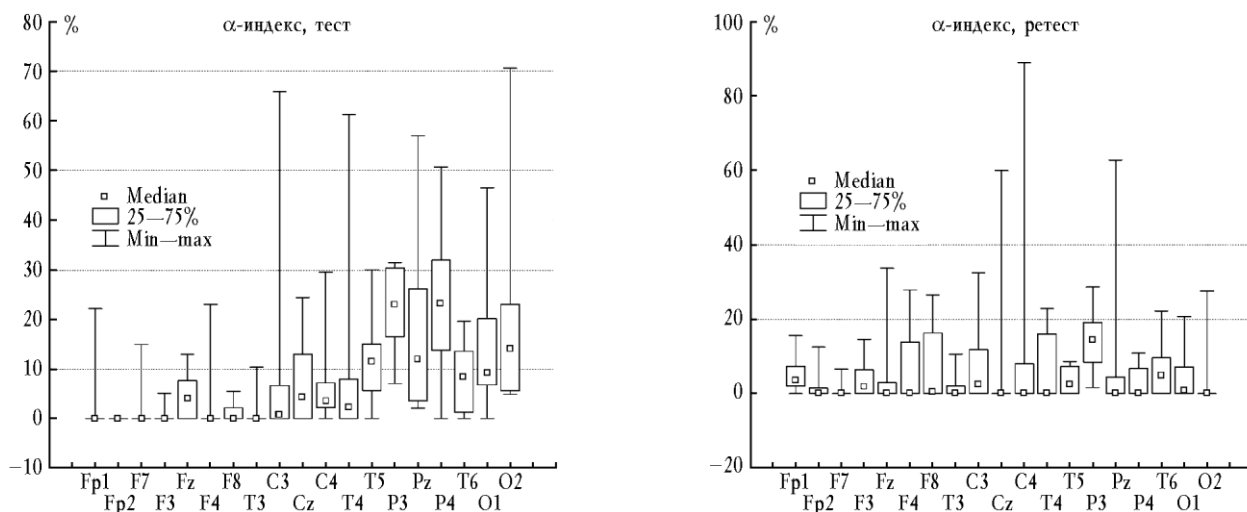


Рис. 1. Пространственное распределение группового значения α -индекса до (тест) и после (ретест) курса нейробиоуправления у спортсменов с доминированием метаболического модулятора сердечного ритма

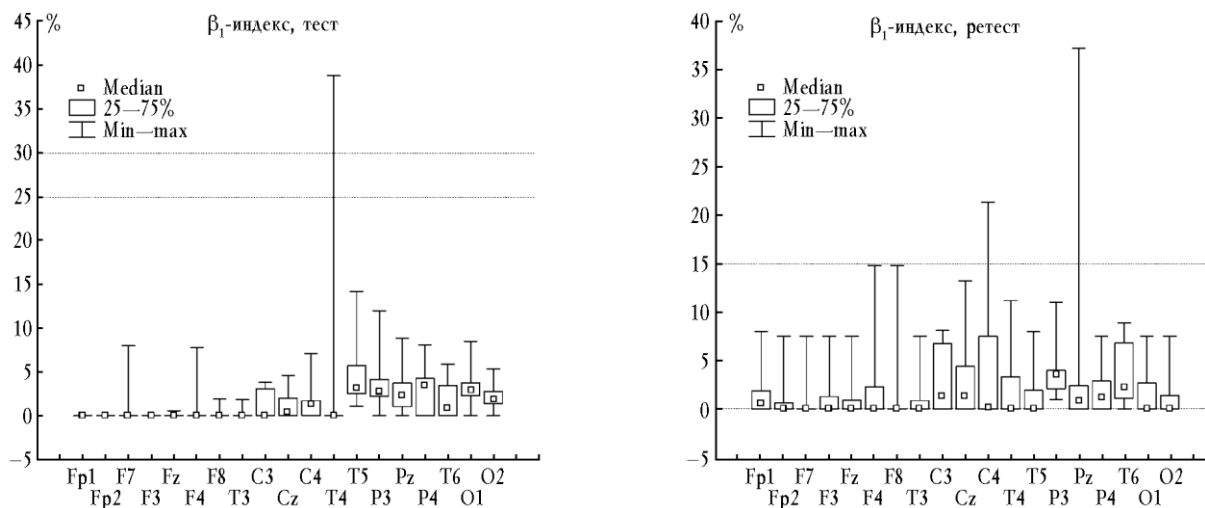


Рис. 2. Пространственное распределение группового значения β_1 -индекса до и после курса нейробиоуправления

Среднее значение β_2 -индекса (в диапазоне 18—25 Гц) значительно увеличилось в отведениях Fp1, Fp2, F3, Fz, F8, T3, C3, T4 и уменьшилось в отведениях T5, Pz, P4. Хотя уровень средних значений в большинстве наблюдений остался на уровне 2%, максимальные значения β -индекса увеличились с 6 до 13%.

Таким образом, подтверждается кумулятивный эффект восстановительного воздействия, представленного курсом нейробиоуправления по спектральной мощности α -ритма головного мозга на индексы ритмов электроэнцефалограммы у спортсменов высокой квалификации. Поскольку под влиянием курса нейробиоуправления в различных областях головного мозга одновременно наблюдаются и процессы активации (в областях с невысо-

ким уровнем индексов), и процессы деактивации осцилляторов (в областях с более высоким уровнем индексов), то курс нейробиоуправления можно рассматривать как воздействие, не столько стимулирующее тормозные или активирующие структуры мозга, сколько как воздействие, модулирующее работу этих структур.

Анализ временных параметров взаимодействия ансамблей нейронов в 19 отведениях при помощи метода линейной корреляции Пирсона позволил выявить признаки определенной реорганизации временных характеристик межцентровых связей. Между отведениями были обнаружены значимые ($p < 0,05$) корреляционные связи, из которых в настоящей статье обсуждаются сильные ($r > 0,7$) связи.

В фоновой записи ЭЭГ до воздействия ансамбли нейронов в α -диапазоне функционировали относительно независимо друг от друга в 5 отведениях (Fp2, F7, F4, P3, P4) из 19 и не имели сильных значимых положительных связей. Во всех 19 отведениях не найдено и сильных значимых отрицательных связей. Крупнейшую констелляцию по положительным связям образовывали нейроны в отведении С4, где число связей составляло 7 (Fp1, F3, T3, Cz, Pz, O1, O2). Вторые по численности связей кластеры образовали ансамбли нейронов в отведениях Cz, O1, где число связей составляло 5. Кластеры с числом связей 4 образовали ансамбли нейронов в отведениях Fp1, F3, T3, Pz, O2. Единичную связь имели ансамбли нейронов в отведениях Fz, F8, C3, T6 (рис. 3,а).

После воздействия в фоновой записи α -индекс ансамблей нейронов в отведениях Fp1, T3, C3, T5, P3, P4 не имел сильных значимых положительных связей с α -

индексом ансамблей нейронов в других отведениях, возможно, нейроны в этих областях функционировали независимо друг от друга. Курс НБУ привел к перестройке временных связей внутри коры больших полушарий в фоновом состоянии, в результате которой функциональную независимость приобрели ансамбли нейронов в отведениях Fp1, T3, C3, T5. По-прежнему сохранила функциональную независимость группа нейронов только в отведении P3. Вместе с тем наблюдался и процесс интеграции деятельности ансамблей нейронов. Образовали корреляционные связи по α -индексу нейроны в отведениях Fp2, F7, F4, P4. В отведениях F3, Fz, F8, T4, Pz, T6, O1, O2 было отмечено реформирование корреляционных плеяд. В этих отведениях наблюдалось изменение состава корреляционных плеяд и количества образующих их связей (рис. 3,б). Несмотря на то что изменилось количество связей, их направление (положительная связь) осталось неизменным.

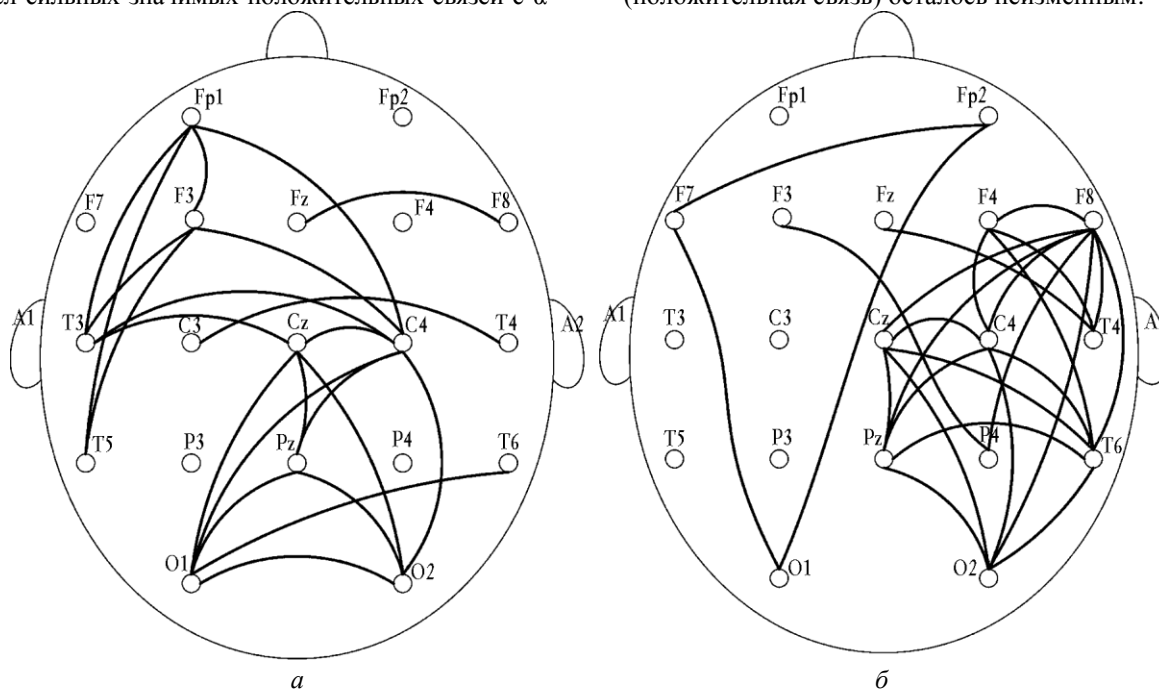


Рис. 3. Межцентровые положительные сильные значимые корреляционные связи по α -индексу до (а) и после (б) воздействия курсом НБУ

В отведении С3, в котором и проводилось управление мощностью волновой активности головного мозга в α -диапазоне, до воздействия корреляционные связи по α -индексу были обнаружены с нейронами в отведении Т4. После воздействия ни эта, ни какая другая корреляционная связь по α -индексу с ансамблями нейронов в других отведениях уже не обнаруживалась (рис. 3).

Можно заметить, что после курса НБУ увеличилось число связей, формирующих плеяду. Так, если до воздействия максимальное число связей в плеяде достигало 7, то после воздействия в отведении F8 число связей достигло 8. В лидировавшем по числу связей до воздействия отведении С4 их количество уменьшилось до 6. К плеядам, существовавшим до воздействия, после курса НБУ добавились плеяды в

правой фронтальной и правой височной доле (F8, F4, Fp2, T6). В фоновой записи до воздействия значимых отрицательных корреляционных связей α -индекса ансамблей нейронов во всех 19 отведениях не обнаружено. Таким образом, курс НБУ привел к перестройке временных связей внутри коры больших полушарий в фоновом состоянии, в результате которой усилились процессы интеграции функциональной активности ансамблей нейронов в большинстве отведений в α -диапазоне.

В β_1 -диапазоне фоновой записи ЭЭГ до воздействия ансамбли нейронов коры головного мозга, его различных долей функционировали относительно независимо друг от друга в 12 отведениях из 19 и не имели сильных значимых положительных связей. Не было найдено и сильных значимых отрицательных связей. Положительные связи были наиболее многочисленными в отведении С4, где число связей состав-

ляло 2. Единичную связь имели ансамбли нейронов в отведениях Fz, F8, T3, Cz, P4, O1 (рис. 4,а).

В фоновой записи после воздействия β_1 -индекс в единственном отведении — С4 не имел сильных значимых положительных связей с β_1 -индексом ансамблей нейронов в других отведениях. Вместе с тем наблюдался и процесс интеграции деятельности ансамблей нейронов. Образовали корреляционные связи по β_1 -индексу нейроны в отведениях Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, T3, T5, P3, P4, O1, O2. В этих отведениях наблюдалось изменение состава корреляционных плеяд и количества образующих их связей. Процессы интеграции временных аспектов биоэлектрической активности нейронных ансамблей в наибольшей мере были выражены в лобных, левых височных, парietальных и окципитальных отведениях, где число связей в корреляционных плеядах достигло 9—10 (рис. 4,б).

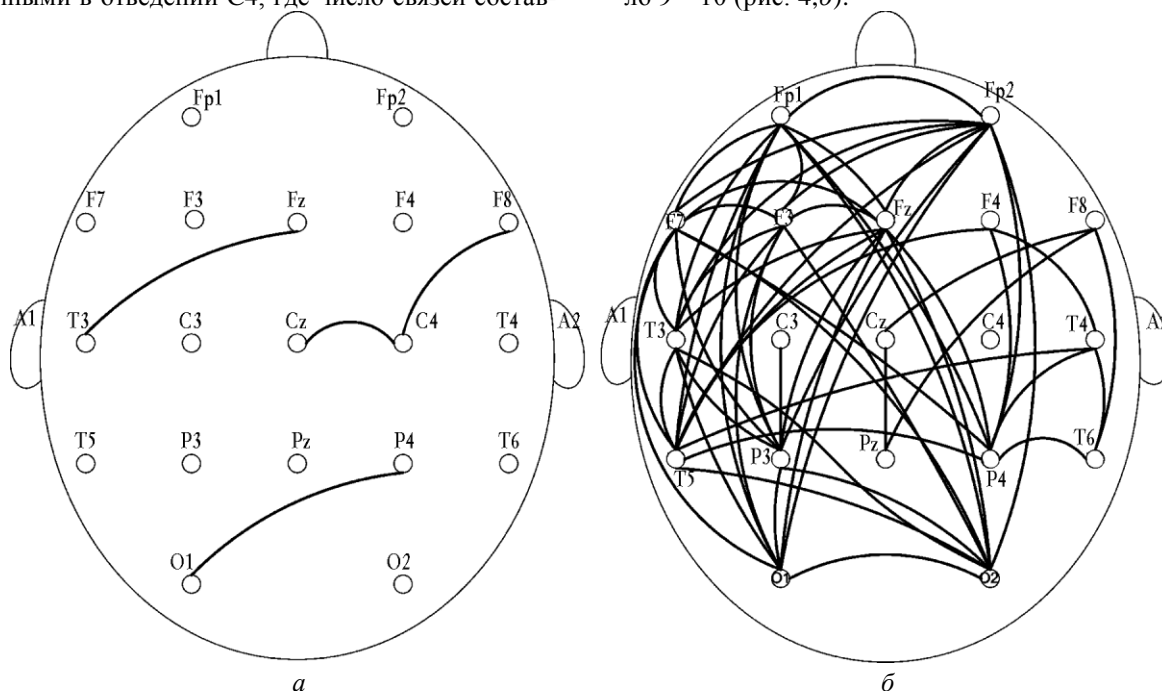


Рис. 4. Межцентровые положительные сильные значимые корреляционные связи по β_1 -индексу до (а) и после (б) воздействия курсом НБУ

В отведении С3, в котором и проводилось управление мощностью волновой активности головного мозга в α -диапазоне, до воздействия корреляционные связи по β_1 -индексу с ансамблями нейронов в остальных отведениях не были обнаружены. После воздействия была обнаружена одна сильная значимая корреляционная связь по β_1 -индексу с ипсилатеральным ансамблем нейронов в отведении P3. Можно отме-

тить, что после курса НБУ увеличилось количество корреляционных плеяд с максимальным количеством связей, достигшим 10. До воздействия такие плеяды не определялись, после воздействия таких плеяд насчитывалось уже 6. В то же время произошел распад корреляционной плеяды с числом связей, равным 2, и их реформирование в отведении С4 (рис. 4).

В фоновой записи до воздействия значимых отрицательных корреляционных связей β_1 -индекса ансамблей нейронов во всех 19 отведениях не обнаружено. И после воздействия тоже значимых отрицательных корреляционных связей β_1 -индекса ансамблей нейронов во всех 19 отведениях также не обнаружено.

Таким образом, курс НБУ привел к перестройке временных связей внутри коры больших полушарий в фоновом состоянии, в результате чего усилились процессы интеграции функциональной активности ансамблей нейронов в большинстве отведений в β_1 -диапазоне.

Аналогичное продемонстрированным выше усложнение структуры корреляционных плеяд по величине индекса и изменение направления межцентровых связей после проведения курса НБУ было отмечено также в δ -, θ -, β_2 - и γ -диапазонах фоновой записи ЭЭГ.

Можно заключить, что курс НБУ привел к перестройке временных связей внутри коры больших полушарий в фоновом состоянии, в результате которой усилились процессы интеграции функциональной активности ансамблей нейронов в большинстве отведений во всех стандартных диапазонах ЭЭГ.

Выводы

1. У спортсменов высокой квалификации с доминированием метаболического модулятора сердечного ритма особенностями состояния временных паттернов биоэлектрической активности мозга являются повышенные уровни δ - и θ -индексов в центральных, парieto-затылочных и окципитальных отведениях, а также выраженный рострокаудальный градиент осцилляторной активности с признаками депрессии в лобных долях в α - и β -диапазонах электроэнцефалограммы.

2. Восстановительное лечение в виде курса нейробиоуправления по спектральной мощности в α -диапазоне электроэнцефалограммы вызывает значимый кумулятивный эффект во временных показателях фоновой биоэлектрической активности мозга у спортсменов высокой квалификации с доминированием метаболического модулятора сердечного ритма.

3. Восстановительное лечение в виде курса нейробиоуправления по спектральной мощности в α -диапазоне электроэнцефалограммы вызывает значимый кумулятивный эффект в виде усложнения структуры и изменения направления межцентровых корреляционных связей фоновой биоэлектрической активности мозга у

спортсменов высокой квалификации с доминированием метаболического модулятора сердечного ритма.

4. Кумулятивный эффект представлен модулирующим активностью центральных осцилляторных процессов влиянием, проявляющимся во всех стандартных частотных диапазонах электроэнцефалограммы, а не только в α -диапазоне, спектральная мощность которого была управляемым параметром биологической обратной связи.

5. Кумулятивный эффект курса нейробиоуправления представлен генерализованным в пространстве неокортекса модулирующим активностью осцилляторных процессов влиянием, которое прослеживается во всех отведениях, а не только в локусе, служившем источником управляющего сигнала биологической обратной связи.

Исследование проводится в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009—2013 г. (ГК П-442 от 31.07.2009).

Литература

1. Гнездицкий В.В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография (картирование и локализация источников электрической активности мозга). М.: МЕДпресс-информ. 2004. 624 с.
2. Данилова Н.Н., Астафьев С.В. Внимание человека как специфическая связь ритмов ЭЭГ с волновыми модуляторами сердечного ритма // Журн. высш. нервн. деятельности. 2000. Т. 50, вып. 5. С. 791—804.
3. Еремеев С.И., Еремеева О.В., Кормилец В.С. Динамика активности модуляторов ритма мозга у спортсменов в соревновательном периоде макроцикла по данным спектрального анализа количественных электроэнцефалограмм и ее регуляция средством нейробиоуправления // Вестн. Югорского гос. ун-та. 2008. Т. 11, № 4. С. 35—43.
4. Зенков Л.Р. Клиническая электроэнцефалография с элементами эпилептологии. 3-е изд. М.: МЕДпресс-информ. 2004. 368 с.
5. Кэмпбелл Д. Модели экспериментов в социально-психологических и прикладных исследованиях. СПб.: Социально-психологический центр. 1996. 390 с.
6. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения метода. Изд. 2-е, перераб. и доп. Иваново: Иван. гос. мед. академия. 2002. 290 с.
7. Перхуров А.М. Очерки донозологической функциональной диагностики в спорте / под науч. ред. проф. Б.А. Поляева. М.: РАСМИРБИ. 2006. 152 с.
8. Попова Т.В., Корюкалов Ю.И., Коурова О.Г. Вариабельность биоэлектрической активности мозга при различных состояниях спортсменов // Теория и практика физической культуры. 2006. № 8. С. 20—22.

Еремеева О.В., Кормилец В.С., Еремеев С.И. Кумулятивный эффект НБУ по показателям индексов фоновой ЭЭГ спортсменов...

9. *Тристан В.Г., Погадаева О.В.* Нейробиоуправление в спорте. Омск: Изд-во СибГАФК, 2001. 136 с.
10. *Borrie A., Jonsson G.K., Magnusson M.S.* Temporal pattern

analysis and its applicability in sport: an explanation and exemplar data // *J. Sports Sci.* 2002. V. 20, № 10. P. 845—852.

Поступила в редакцию 16.11.2009 г.

Утверждена к печати 14.09.2010 г.

Сведения об авторах

О.В. Еремеева — преподаватель кафедры физического воспитания ЮГУ (г. Ханты-Мансийск).

В.С. Кормилец — соискатель кафедры анатомии и физиологии человека ЮГУ (г. Ханты-Мансийск).

С.И. Еремеев — канд. мед. наук, доцент кафедры анатомии и физиологии человека ЮГУ (г. Ханты-Мансийск).

Для корреспонденции

Еремеева Ольга Васильевна, тел./факс 8 (3467) 35-78-70, тел. 8-950-500-2823; e-mail: o_eremeeva@list.ru