

ХАРАКТЕРИСТИКИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПРИ ТРЕНИРОВКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТОВ С ФУНКЦИЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

А.В. Илларионова¹, Л.В. Капилевич^{1,2}

¹Томский государственный университет, г. Томск, Россия,

²Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Россия

Цель: изучить влияние тренингов с использованием аппаратов с функцией обратной связи на характеристики биоэлектрической активности головного мозга. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 60 девушек в возрасте 18–20 лет, не занимающихся спортом. Проводились спортивные тренировки на развитие вестибулярного анализатора и проприоцептивной чувствительности; а также на тренажерах с использованием обратной связи по параметру «положение проекции центра тяжести» и по параметру «прилагаемые усилия». Запись ЭЭГ осуществлялась при проведении проб Ромберга и Би-рюк до и после курса тренировок. **Результаты.** Показано, что специфика физиологических механизмов различных видов тренировок, направленных на развитие вестибулярного анализатора и проприоцептивной чувствительности, находит свое отражение в формировании специфических паттернов биоэлектрической активности коры головного мозга. Традиционные способы тренировки слабее всего отражаются на характеристиках ЭЭГ, в то время как тренировки с БОС характеризуются более выраженным влиянием. Наряду со сходными эффектами (усиление медленной активности тета- и дельта-диапазона преимущественно во фронтальной области коры и активация высокочастотной бета-активности в затылочных отведениях) регистрируются и различия. Если тренировка с использованием в качестве канала БОС параметра «положение проекции центра тяжести» сопровождалась угнетением активности альфа-диапазона, то тренировка с использованием в качестве канала БОС параметра «прилагаемые усилия», напротив, способствовала росту средней мощности альфа-активности в затылочной области коры. **Заключение.** Параметры биоэлектрической активности коры головного мозга являются информативными при проведении тренировок с БОС и могут использоваться для контроля их эффективности и оценки физиологических аспектов.

Ключевые слова: биологическая обратная связь, координация, стабилметрия, спортивная тренировка, электроэнцефалография.

Введение. При обучении двигательным действиям с использованием тренажеров организуется биотехническая система «человек – внешняя среда», где активным началом является человек [13]. Именно он, варьируя свои двигательные действия, подстраивается под навязанные ему условия внешней среды с тем, чтобы добиться искомого результата движения. В этом случае можно говорить о реализации принципа «сознательности и активности обучаемого». Особой эффективностью в усилении возможностей организма обладает методический прием, направленный на предоставление дополнительной информации – биологической обратной связи (БОС,

в англоязычной литературе – biofeedback) [11, 16].

Принцип обратной связи является основным и универсальным принципом управления различными системами. Это механизм, использующийся в работе организма для поддержания оптимального состояния внутренней среды (гомеостаза) и осуществления направленных вовне действий [7]. Биологическая обратная связь – способ получения дополнительной информации о работе организма и его составляющих, биологический механизм контроля качества достигнутого результата. Это комплекс методов и технологий, базирующихся на принципах обратной связи и на-

правленных на активизацию внутренних резервов организма, развитие самоконтроля и саморегуляции важных физиологических функций организма [6, 16].

Спектр применений технологии БОС в спортивной деятельности достаточно широк – от оптимизации нагрузок и обеспечения пиковой производительности скелетной мускулатуры до обучения расслаблению и восстановлению после нагрузок [8, 14]. Обратная связь дает возможность осуществлять физическую работу, сбалансированную по силе, координации движений и постуральному контролю. Особенно важное значение играет использование БОС в развитии координации как способности согласовывать мышечные напряжения в соответствии с намеченной двигательной программой, ведь для управления системой движений важное значение имеет самоконтроль, осуществляемый на основе отчетливых двигательных представлений, а одним из способов его совершенствования является развитие точности восприятия и воспроизведения проявляемых собственных усилий при решении двигательных заданий различной направленности [5, 17].

Тренажеры с функцией БОС позволяют с минимальной временной задержкой информировать человека о состоянии его телесных функций, за счет чего возникает возможность их сознательной регуляции. Основной задачей метода БОС является именно обучение саморегуляции, а используемое при этом оборудование делает доступной для человека информацию, в обычных условиях им не воспринимаемую [3]. Основные атрибуты метода – инструктор, тренируемый, оборудование. Все изложенное позволяет предположить, что для исследования механизмов реализации эффектов БОС-тренировки прежде всего следует контролировать состояние центральной нервной системы. Наиболее успешно для этих целей в спортивной физиологии используется метод электроэнцефалографии (ЭЭГ) [4, 10, 15].

Цель: изучить влияние тренингов с использованием аппаратов с функцией обратной связи на характеристики биоэлектрической активности головного мозга.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 60 девушек в возрасте 18–20 лет, не занимающихся спортом и входящих в основную медицинскую группу. В результате отбора были сформированы 3 группы девушек. 20 девушек (группа 1)

тренировались по программе, включавшей комплекс упражнений на развитие вестибулярного анализатора и проприоцептивной чувствительности [9]. 20 девушек (группа 2) занимались на компьютерном стабиланализаторе «Стабилан-01-2» (производитель – ЗАО ОКБ «Ритм» (Россия)) с использованием обратной связи по параметру «положение проекции центра тяжести» [2, 12]. 20 испытуемых (группа 3) занималась на аппарате HUBER (производитель – LPG SYSTEMS (Франция)) с использованием обратной связи по параметру «прилагаемые усилия» [1]. Занятия проводились 3 раза в неделю в течение месяца, всего 12 тренировок. Перед началом курса тренировок, а также после него девушки проходили тестирование чувства равновесия и координационных способностей.

Регистрация электроэнцефалограммы проводилась с использованием программно-аппаратного комплекса «Нейрон-спектр 4/П» производства ООО «Нейрософт» в системе отведений «10–20» по 8 каналам. Запись ЭЭГ осуществлялась при проведении следующих проб:

- фоновая запись (в состоянии относительного покоя с закрытыми глазами) – 180 с;
- простая проба Ромберга с закрытыми глазами (испытуемый стоит без обуви с закрытыми глазами, плотно сдвинув стопы, руки вытянув вперед, пальцы расслаблены и несколько разведены) – 10 с;
- усложненная проба Ромберга с закрытыми глазами (ноги испытуемого стоят на одной линии (носок левой ноги упирается в пятку правой)). Руки вытянуты вперед, пальцы расслаблены и несколько разведены) – 10 с;
- проба Бирюк с закрытыми глазами (испытуемый встает в сомкнутую стойку на носках, руки вверх и удерживает данное положение) – 10 с.

Регистрация ЭЭГ выполнялась в полосе пропускания 0,3–50 Гц и при частоте дискретизации 500 Гц. Каждая запись ЭЭГ автоматически сканировалась на наличие артефактов. Участки ЭЭГ с амплитудой более 200 мкВ в пределах окна в 640 мс отмечались как плохой канал; участки с амплитудой более 140 мкВ рассматривались как двигательный артефакт. Для спектрального анализа использовали отрезки безартефактной записи, подразделявшиеся на четырехсекундные эпохи, подвергавшиеся быстрому преобразованию Фурье с использованием окна Ханна. Оценивалась

средняя мощность спектра (мкВ/с) для альфа-, бета-, дельта- и тета-диапазонов в лобных (F), центральных (C), височных (T) и затылочных (O) областях коры головного мозга. Полученные данные обрабатывались с помощью компьютерной программы статистического анализа Statistica 10.0.

Результаты и их обсуждение. Показатели средней мощности спектра альфа-диапазона в состоянии относительного покоя и при проведении проб на координацию с закрытыми глазами представлены на рис. 1. При выполнении простой пробы Ромберга с закрытыми глазами до курса тренировок во всех рассматриваемых группах наибольшая средняя мощность спектра концентрируется в затылочных отделах. Наблюдается асимметрия в сторону роста мощности спектра в левом центральном и височном и правом затылочном отведениях.

После курса тренировок в группе 1 отме-

чены значительное снижение мощности спектра альфа-ритма в затылочных отведениях и тенденция «выравнивания» величины мощности спектра по всем отведениям без значительной ее концентрации в одном из отведений. В группах 2 и 3 после курса тренировок во время выполнении пробы 1 по-прежнему наблюдается рост мощности спектра альфа-ритма спереди назад со значительной его концентрацией в затылочных отведениях (в группе 3 также наблюдается значительный рост мощности спектра в левом центральном отведении по сравнению с результатами до тренинга).

При выполнении пробы 2 до курса тренировок во всех рассматриваемых группах по-прежнему основная концентрация мощности спектра приходится на затылочные отведения; по сравнению с пробой 1 наблюдается значительный рост мощности в переднелобных, затылочном и височном отведениях справа.

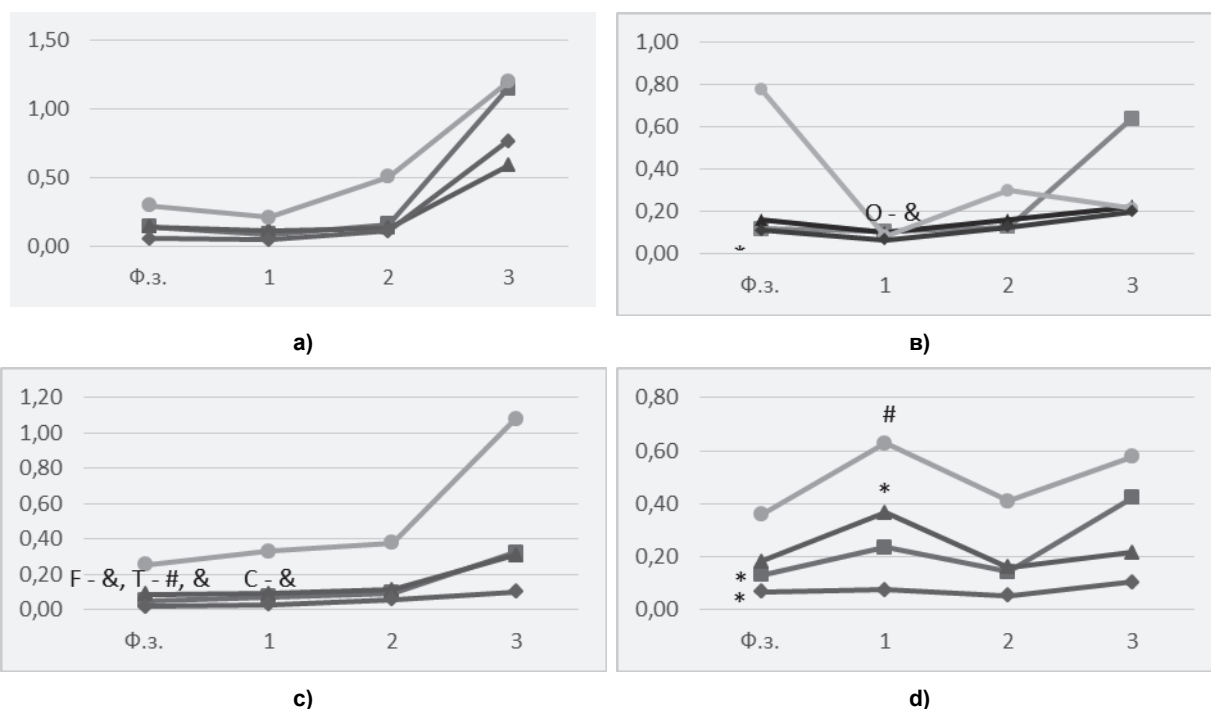


Рис. 1. Средняя мощность спектра альфа-активности до и после курса тренировок, мкВ/с:

а – до курса тренировок, б – после курса упражнений, с – после курса тренировок с БОС на аппарате Стабилан, д – после курса тренировок с БОС на аппарате HUBER; Ф.з. – показатели фоновой записи, 1 – показатели во время выполнения простой пробы Ромберга, 2 – показатели во время выполнения усложненной пробы Ромберга, 3 – показатели во время выполнения пробы Бирюк; отведения: ■ – F ▲ – C ● – O ◆ – T; # – статистически значимые различия между показателями при сравнении с группой 1 ($p \leq 0,05$), * – статистически значимые различия между показателями при сравнении с группой 2, ($p \leq 0,05$), & – статистически значимые различия между показателями при сравнении с группой 3 ($p \leq 0,05$)

Fig. 1. The average spectrum power of alpha-activity before and after the training course, mkV/s:

а – before the training course, б – after the training course, с – after feedback training with the Stabilan equipment, д – after feedback training with the HUBER equipment; Ф.з. – background recording, 1 – parameters for the simple Romberg test, 2 – parameters for the complex Romberg test, 3 – parameters for the Biryuk test; leads: ■ – F ▲ – C ● – O ◆ – T; # – statistically significant differences between the parameters compared to group 1 ($p \leq 0.05$), * – statistically significant differences between the parameters compared to group 2 ($p \leq 0.05$), & – statistically significant differences between the parameters compared to group 3 ($p \leq 0.05$)

После курса тренировок ситуация аналогична результатам пробы 1: «выравнивание» мощности спектра в группе 1 с асимметрией в переднелобном отведении (выше в отведении справа) и рост мощности спереди назад с концентрацией в затылочных отведениях в группах 2 и 3. Причем если в группе 2 в переднелобных и центральных отведениях мощность спектра выше слева, в затылочном отведении – справа, то в группе 3 – наоборот.

При выполнении пробы 3 до курса тренировок мощность спектра альфа-ритма минимальна в центральных отведениях; отмечается особенно значительный рост мощности спектра в височных отведениях; значения мощности спектра в левом полушарии выше. После тренировок в группе 1 мощность спектра альфа-ритма распределяется более равномерно с преобладанием в переднелобных отведениях и правом полушарии. В группах 2 и 3 по-прежнему средняя мощность спектра концентрируется в основном в затылочных отведениях, в группе 2 – в переднелобном и центральном отведениях слева, затылочном и височном справа. В группе 3 – в переднелобном, центральном, височном отведениях справа, затылочном отведении слева. В группе 2 отмечено значительное снижение мощности спектра альфа-ритма в переднелобном и височном отведениях справа.

Показатели *средней мощности спектра низкочастотной компоненты бета-диапазона* в состоянии относительного покоя и при проведении проб на координацию с закрытыми глазами представлены на рис. 2. До курса тренировок при выполнении пробы 1 наблюдался рост мощности спектра НЧ бета-диапазона спереди назад, максимальная мощность отмечалась в левом височном отведении, минимальная – в височном отведении справа. После курса тренировок в группе 1 мощность спектра в височных отведениях и переднелобном отведении слева была минимальна; максимальная мощность спектра отмечалась в переднелобном отведении справа. В группах 2 и 3 минимальная мощность спектра отмечалась в височных отведениях. В группе 2 отмечался рост мощности спектра спереди назад с преобладанием ее в правом полушарии и значительное ее снижение по сравнению с результатом до тренировок в левом височном отведении. В группе 3 напротив наблюдался значительный рост мощности спектра в затылочных отведениях и серьезная асимметрия со значительным преобладанием мощности спектра в переднелобном отведении слева перед ее минимальным значением слева.

При выполнении пробы 2 до курса тренировок отмечалась концентрация мощности спектра в затылочных и височных отведениях,

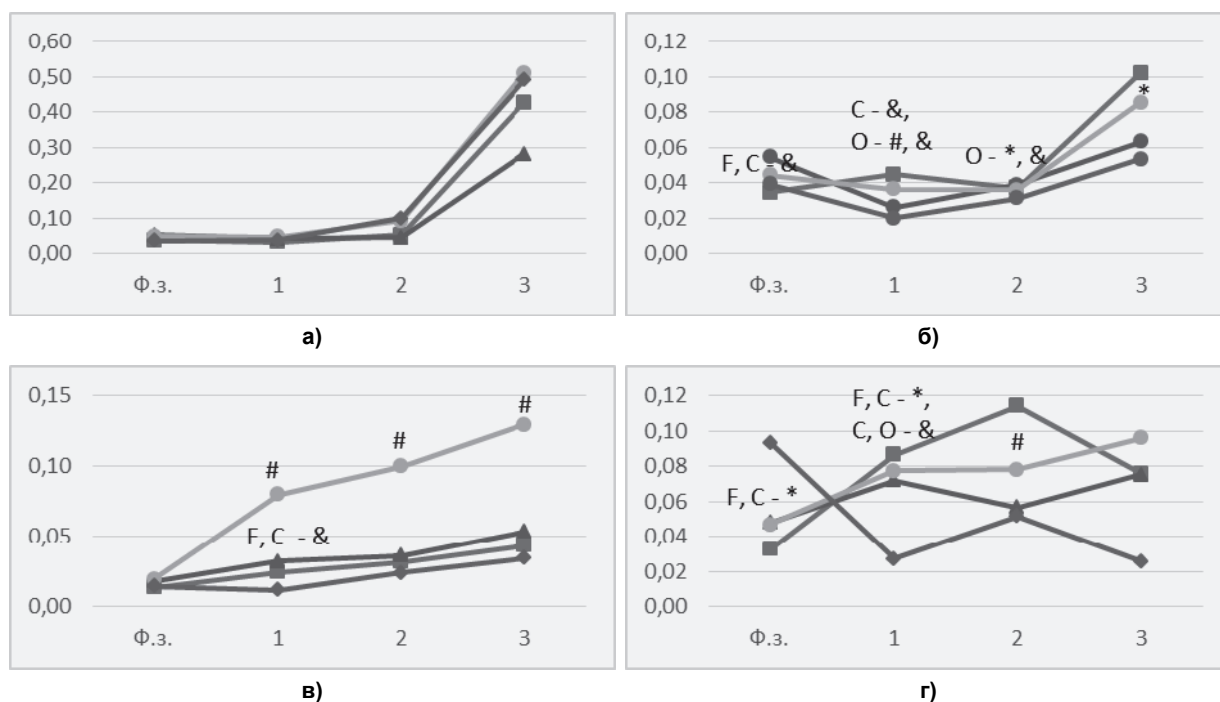


Рис. 2. Средняя мощность спектра низкочастотной бета-активности до и после курса тренировок, мкВ/с
Обозначения те же, что на рис. 1

Fig. 2. The average spectrum power of low-frequency beta-activity before and after the training course, mkV/s
The same as for Fig. 1

причем мощность спектра была выше в левом полушарии. После курса тренировок в группе 1 наблюдалось равномерное распределение мощности спектра по всем отведениям с максимальным ее значением в центральных отведениях и преобладанием в правом полушарии. В группе 2 максимальная мощность спектра наблюдалась в затылочных отведениях и преобладала в левом полушарии. Также отмечалось значительное снижение мощности спектра по сравнению с результатами до курса тренировок в переднелобных и височном отведении слева. В группе 3 по-прежнему наблюдалась сильная асимметрия: максимальная мощность спектра наблюдалась в правом переднелобном и левом височных отведениях, минимальная – в левом переднелобном и правом височных отведениях.

При выполнении пробы Бирюк до курса тренировок во всех рассматриваемых группах минимальная мощность спектра отмечалась в центральных отведениях, максимальная – в затылочных и височных отведениях, отмечалась сильная асимметрия в сторону левого полушария. После тренировок в группе 1 сильно преобладало правое полушарие и максимальная концентрация мощности спектра приходилась на переднелобное отведение справа. В группе 2 после тренировок наблюда-

лось значительное снижение мощности спектра низкочастотного бета-диапазона, незначительная асимметрия и максимальная концентрация мощности спектра в затылочных отведениях. В группе 3 также наблюдался рост мощности спектра спереди назад, максимальная мощность спектра наблюдалась в затылочном отведении справа и центральном отведении слева.

Показатели *средней мощности спектра высокочастотной компоненты бета-диапазона* в состоянии относительного покоя и при проведении проб на координацию с закрытыми глазами представлены на рис. 3. До курса тренировок при выполнении проб 1 и 2 концентрация мощности спектра приходилась на височное отведение слева и затылочные отведения. После тренировок в группе 1 она была максимальна в переднелобном отведении справа. Отмечалось значительное снижение мощности спектра в левом височном отведении (проба 1). В группе 2 максимальная мощность спектра после тренировок концентрировалась в затылочных отведениях, особенно в правом, в пробе 2 отмечалось значительное снижение мощности спектра во всех отведениях, кроме затылочных. В группе 3 отмечался рост мощности спектра (значительный – в пробе 1) и его максимальная концентрация

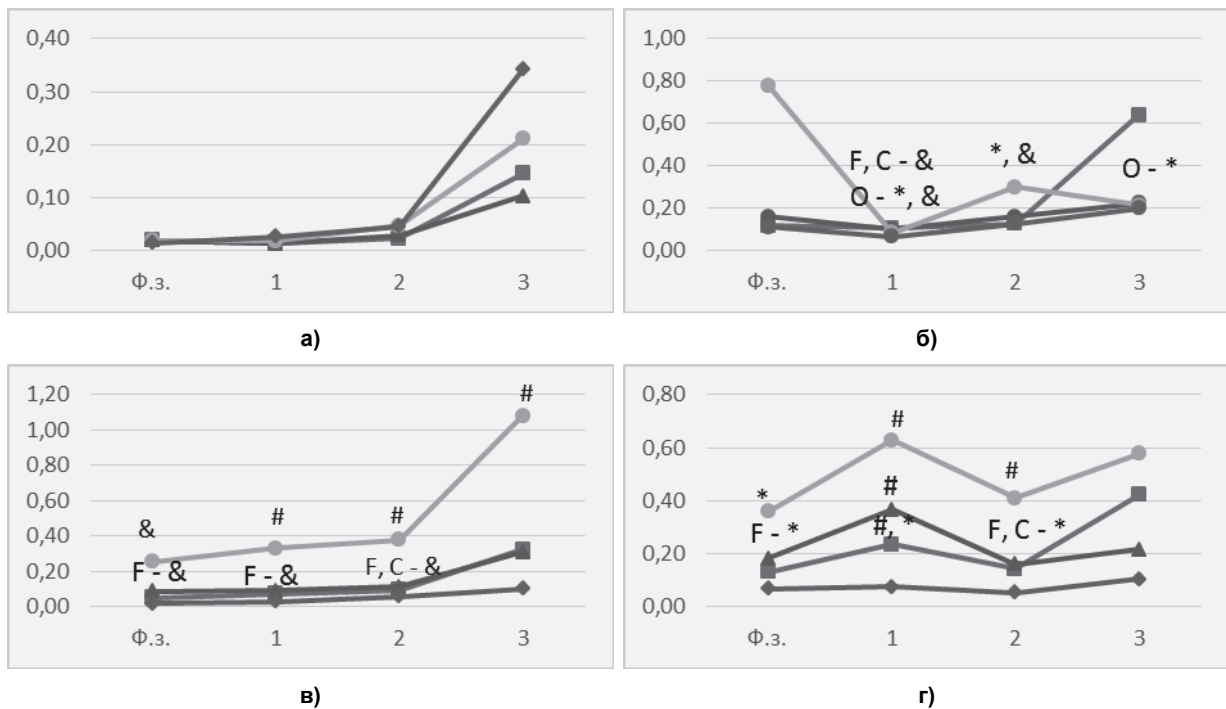


Рис. 3. Средняя мощность спектра высокочастотной бета-активности до и после курса тренировок, мкВ/с
Обозначения те же, что на рис. 1

Fig. 3. The average spectrum power of high-frequency beta-activity before and after the training course, mkV/s
The same as for Fig. 1

в переднелобных отведениях, особенно правом. В пробе 2 группы 3 в очередной раз максимальная мощность спектра наблюдалась в правом переднелобном и левом височном отведениях, минимальная – в правом височном отведении.

При выполнении пробы 3 концентрация мощности спектра также приходилась на височные и затылочные отведения, левое переднелобное отведение, наблюдалась асимметрия с преобладанием левого полушария. После тренировок в группе 1 мощность спектра была равномерна по всем отведениям. В группе 2 наблюдалось значительное снижение мощности спектра в большинстве отведений, максимальная мощность спектра концентрировалась в затылочных отведениях. В группе 3 также асимметрия была незначительна, а максимальная средняя мощность спектра концентрировалась в затылочных отведениях.

Показатели *средней мощности спектра тета-диапазона* в состоянии относительного покоя и при проведении проб на координацию с закрытыми глазами представлены на рис. 4. До курса тренировок при выполнении пробы 1 отмечался рост мощности спектра кпереди, причем концентрация мощности спектра в левом полушарии во всех отведениях была выше. После курса тренировок в группе 1 на-

блюдался существенный рост мощности спектра в переднелобных, а также правом затылочном и правом височном отведениях; максимальная концентрация мощности спектра отмечалась в переднелобных отведениях. В группе 2 после курса тренировок средняя мощность спектра концентрировалась в переднелобных отведениях и левом полушарии. В группе 3 также наблюдался существенный рост мощности спектра в центральном и затылочном отведениях справа; основная концентрация мощности спектра приходилась на переднелобные отведения; мощность спектра была выше в левых переднелобном и височном, а также правых центральном и затылочном отведениях.

При выполнении пробы 2 до курса тренировок (и после курса тренировок в группах 2 и 3) во всех рассматриваемых группах мощность спектра концентрировалась слева, особенно в переднелобном отведении. После курса тренировок в группе 1 эта концентрация переместилась вправо. В группах 2 и 3 концентрация мощности спектра (не считая височных отведений) в центральных отведениях была минимальна; в группе 1 величина мощности спектра в височных отведениях была наибольшей по сравнению с остальными группами.

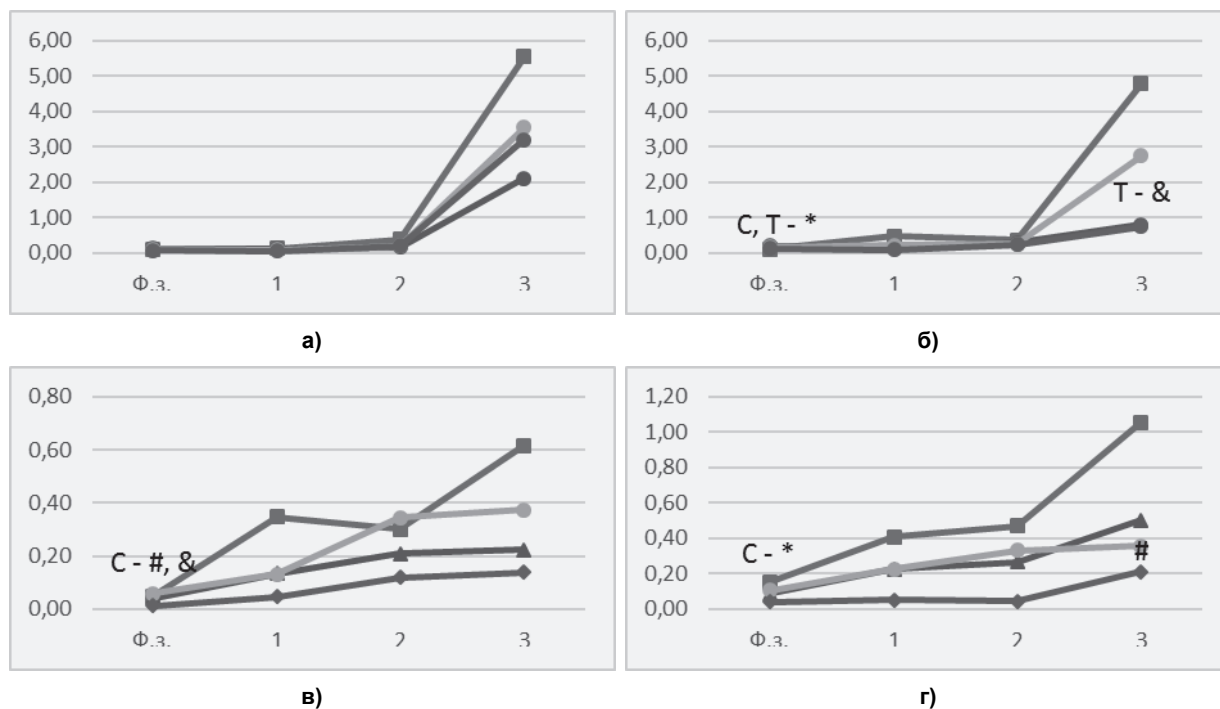


Рис. 4. Средняя мощность спектра тета-активности до и после курса тренировок, мкВ/с

Обозначения те же, что на рис. 1

Fig. 4. The average spectrum power of theta-activity before and after the training course, mkV/s

The same as for Fig. 1

При выполнении пробы 3 до курса тренировок по-прежнему максимальная концентрация средней мощности спектра приходится на левое полушарие и переднелобное отведение, минимальная (в том числе по сравнению с височными отведениями) – на центральное отведение справа. После тренировок в группе 1 по-прежнему максимальная концентрация мощности спектра приходится на правое полушарие, переднелобные и затылочное отведения справа. В группе 2 отмечается значительное снижение мощности спектра в левом переднелобном, а также центральном, затылочном и височном отведениях справа. Основная концентрация мощности спектра приходится на переднелобные и затылочное отведения слева; мощность спектра преобладает в правом полушарии во всех отведениях, кроме переднелобного. В группе 3 мощность спектра преобладает также в правом полушарии во всех отведениях, кроме центрального, и концентрируется в переднелобных отведениях.

Показатели *средней мощности спектра дельта-диапазона* в состоянии относительного покоя и при проведении проб на координацию с закрытыми глазами представлены на рис. 5.

До курса тренировок при выполнении пробы 1 отмечался рост мощности спектра кпе-

реди, причем концентрация мощности в левом полушарии во всех отведениях была выше. После курса тренировок в группе 1 наблюдался существенный рост мощности спектра в правом полушарии, максимальная концентрация мощности спектра отмечалась в переднелобных отведениях. Мощность спектра была выше в правом полушарии. В группе 2 после курса тренировок мощность спектра концентрировалась в переднелобных отведениях. Мощность спектра была выше слева в переднелобном и центральном отведениях, справа – в затылочном отведении. В группе 3 также наблюдался существенный рост мощности спектра в переднелобных отведениях, центральном и височном отведениях справа; основная концентрация мощности спектра приходилась на переднелобные отведения; мощность спектра была выше в левом полушарии.

При выполнении пробы 2 до и после курса тренировок во всех рассматриваемых группах мощность спектра концентрировалась слева, особенно в переднелобном отведении. После курса тренировок в группе 1 наблюдался рост концентрации мощности спектра кпереди. В группе 2 наблюдался значительный рост мощности спектра в левом центральном и снижение – в правом затылочном отведениях. В группах 2 и 3 минимальная концентрация

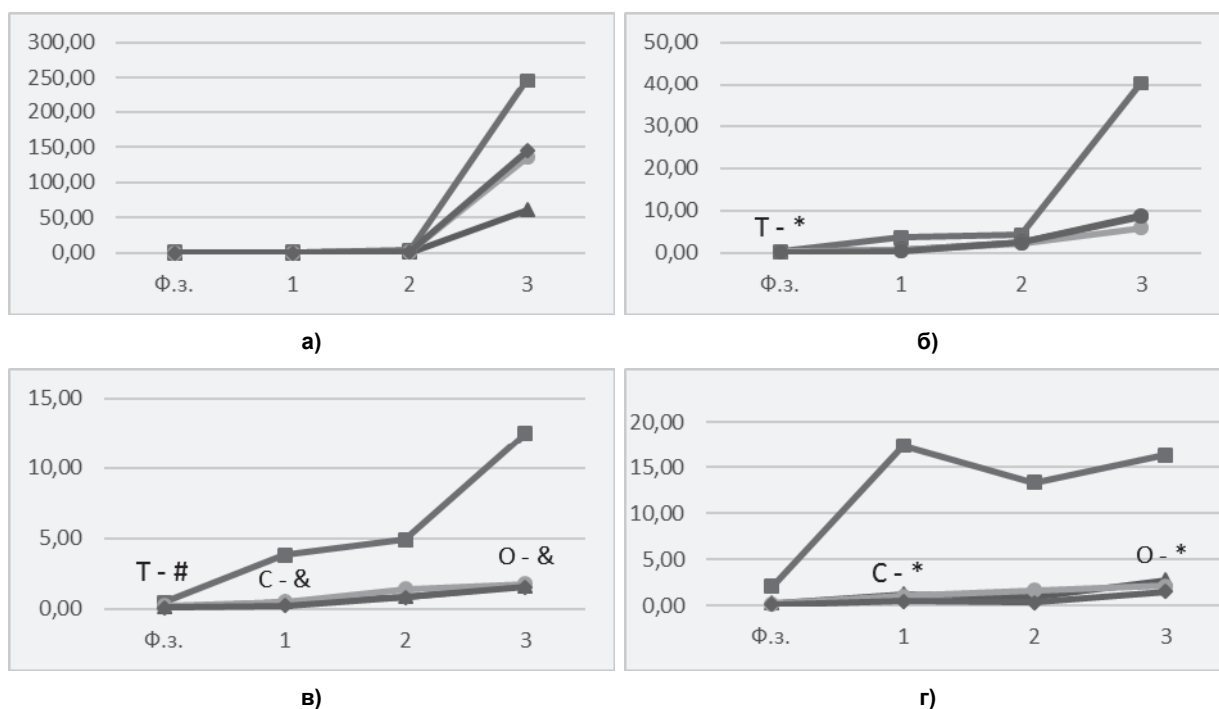


Рис. 5. Средняя мощность спектра дельта-активности до и после курса тренировок

Обозначения те же, что на рис. 1

Fig. 5. The average spectrum power of delta-activity before and after the training course, mkV/s

The same as for Fig. 1

мощности спектра наблюдалась в центральных и височных отведениях.

При выполнении пробы 3 до курса тренингов по-прежнему максимальная концентрация средней мощности спектра приходится на левое полушарие и переднелобное отведение, минимальная (в том числе по сравнению с височными отведениями) – на центральное отведение справа. После тренингов в группе 1 максимальная концентрация мощности спектра приходится на переднелобные отведения, особенно правое. В остальных отведениях мощность спектра выше в правом полушарии. В группе 2 отмечается значительное снижение мощности спектра во всех отведениях. Мощность спектра концентрировалась в переднелобных отведениях и была выше в правом переднелобном отведении и в левом полушарии во всех остальных отведениях. В группе 3 мощность спектра также концентрируется в переднелобных отведениях и преобладает справа в переднелобном и затылочном отведениях и слева в центральном и височном отведениях.

Заключение. Полученные результаты позволяют отметить следующие основные закономерности формирования специфических паттернов биоэлектрической активности коры головного мозга при различных способах тренировок, направленных на развитие вестибулярного анализатора и проприоцептивной чувствительности:

– Тренировка без использования технических средств и БОС в наименьшей степени отражается на показателях ЭЭГ при выполнении всех проб. Со стороны альфа-активности отмечается некоторое угнетение, со стороны бета-диапазона – напротив, незначительная активация, преимущественно в низкочастотной ее области. На показатели медленной активности тета- и дельта-диапазона данный вид тренировки влияния не оказывал.

– Тренировка на стабилографической платформе с использованием обратной связи по параметру «положение проекции центра тяжести» также угнетала активность альфа-диапазона во всех областях коры. В отличие от предыдущего случая, отмечалась активация высокочастотной области бета-активности, в наибольшей степени – в затылочных отведениях. Регистрировалась активация медленной активности тета- и дельта-диапазона преимущественно во фронтальной области коры.

– Тренировка на аппарате HUBER с использованием обратной связи по параметру «прилагаемые усилия» оказывала наиболее выраженный эффект на показатели биоэлектрической активности головного мозга. Наблюдался рост средней мощности спектра альфа-активности в затылочно-центральной области. В диапазоне высокочастотной области бета-активности отмечалась активация во фронтальных отведениях при выполнении проб Ромберга. В диапазоне медленной активности (тета- и дельта-) регистрировался рост средней амплитуды спектра в лобно-центральной области коры во всех применяемых пробах.

Таким образом, специфика физиологических механизмов различных видов тренировок, направленных на развитие вестибулярного анализатора и проприоцептивной чувствительности, находит свое отражение в формировании специфических паттернов биоэлектрической активности коры головного мозга. Традиционные способы тренировки слабее всего отражаются на характеристиках ЭЭГ, в то время как тренировки с БОС характеризуются более выраженным влиянием. Наряду со сходными эффектами (усиление медленной активности тета- и дельта-диапазона преимущественно во фронтальной области коры и активация высокочастотной бета-активности в затылочных отведениях) регистрируются и различия. Если тренировка с использованием в качестве канала БОС параметра «положение проекции центра тяжести» сопровождалась угнетением активности альфа-диапазона, то тренировка с использованием в качестве канала БОС параметра «прилагаемые усилия», напротив, способствовала росту средней мощности альфа-активности в затылочной области коры.

По поводу трактовки физиологической значимости различных диапазонов биоэлектрической активности коры в литературе нет единого мнения. В то же время есть доказательства связи определенных ее паттернов с формированием двигательных навыков [4]. Очевидно, что применение традиционных форм тренировки в нашем случае не позволило за период исследования добиться заметных физиологических перестроек. Напротив, применение тренажеров БОС привело к достоверным изменениям в параметрах электроэнцефалограммы. Характерные для обоих методов тренировки с БОС, усиление медленной

активности тета- и дельта-диапазона и активация высокочастотной бета-активности в затылочных отведениях трактуются как признак напряжения, сосредоточенности на выполняемом действии и ассоциируются с формированием спортивного мастерства [15].

Относительно активности альфа-диапазона ситуация выглядит противоречивой. С одной стороны, для активной деятельности чаще характерно снижение данного компонента ЭЭГ. С другой стороны, есть данные об усилении активности альфа-диапазона при сочетании физических нагрузок с выполнением когнитивных функций [10]. Можно предположить, что выполнение упражнений с БОС по параметру «прилагаемые усилия» требует большего интеллектуального напряжения и вовлечения когнитивной сферы.

Все изложенное позволяет заключить, что параметры биоэлектрической активности коры головного мозга являются информативными при проведении тренировок с БОС и могут использоваться для контроля их эффективности и оценки физиологических аспектов.

Литература

1. Попадюха, Ю.А. Перспективы использования компьютерных систем Huber в оздоровлении, профилактике повреждений и физической реабилитации / Ю.А. Попадюха, Г.В. Коробейников // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. – 2012. – № 1. – С. 88–93.
2. Слива, А.С. Стабилографический тренажер / А.С. Слива, Г.Ю. Джуплина // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 9. – С. 242–244.
3. Barbado, D. How much trunk control is affected in adults with moderate-to-severe cerebral palsy? / D. Barbado, R. Reina, A. Roldan et al. // Journal of Biomechanics. – 2019. – Vol. 82. – P. 368–374.
4. Cheron, G. Brain oscillations in sport: Toward EEG biomarkers of performance / G. Cheron, G. Petit, J. Cheron et al. // Frontiers in Psychology. – 2016. – Vol. 7 (FEB).
5. Dürking, P. Necessary steps to accelerate the integration of wearable sensors into recreation and competitive sports / P. Dürking, C. Stammel, B. Sperlich et al. // Current Sports Medicine Reports. – 2018. – Vol. 17 (6). – P. 178–182.
6. Dürking, P. The potential usefulness of virtual reality systems for athletes: A short SWOT analysis / P. Dürking, H.-C. Holmberg, B. Sperlich // Frontiers in Physiology. – 2018. – Vol. 9 (MAR). – P. 128.
7. Ericksen, H.M. Immediate effects of real-time feedback on jump-landing kinematics / H.M. Ericksen, A.C. Thomas, P.A. Gribble et al. // Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy. – 2015. – Vol. 45 (2). – P. 112–118.
8. Gong, A. Characteristic differences between the brain networks of high-level shooting athletes and non-athletes calculated using the phase-locking value algorithm / A. Gong, J. Liu, L. Lua et al. // Biomedical Signal Processing and Control. – 2019. – Vol. 51. – P. 128–137.
9. Illarionova, A.V. Distinctive features of intramuscular and intermuscular coordination at power graduation in the context of balance training / A.V. Illarionova, L.V. Kapilevich // Teoriya i Praktika Fizicheskoy Kultury. – 2014. – Vol. 12. – P. 44–46.
10. Ji, L. Correlation analysis of EEG alpha rhythm is related to golf putting performance / L. Ji, H. Wang, T.Q. Zheng et al. // Biomedical Signal Processing and Control. – 2019. – Vol. 49. – P. 124–136.
11. Jo, E. Validation of biofeedback wearables for photoplethysmographic heart rate tracking / E. Jo, K. Lewis, D. Directo et al. // Journal of Sports Science and Medicine. – 2016. – Vol. 15 (3). – P. 540–547.
12. Kapilevich, L.V. Physiological basis of the improvement of movement accuracy on the basis of stabilographic training with biological feedback / L.V. Kapilevich, E.V. Koshelskaya, S.G. Krivoschekov // Human Physiology. – 2015. – Vol. 41 (4). – P. 404–411.
13. Kapilevich, L.V. Physiological mechanisms to ensure accuracy and coordination of movements under conditions of unstable equilibrium and moving target (the case of strikes in sports karate) / L.V. Kapilevich, F.A. Guzhov, Yu. P. Bredikhina, A.A. Il'in // Teoriya i Praktika Fizicheskoy Kultury. – 2014. – Vol. 12. – С. 22–24.
14. Kos, A. Challenges in wireless communication for connected sensors and wearable devices used in sport biofeedback applications / A. Kos, V. Milutinović, A. Umek // Future Generation Computer Systems. – 2019. – Vol. 92. – P. 582–592.
15. Park, J.L. The case for mobile cognition: EEG and sports performance / J.L. Park, M.M. Fairweather, D.I. Donaldson // Neuroscience and Biobehavioral Reviews. – 2015. – Vol. 52. – P. 117–130.
16. Peake, J.M. A critical review of consumer wearables, mobile applications, and

equipment for providing biofeedback, monitoring stress, and sleep in physically active populations / J.M. Peake, G. Kerr, J.P. Sullivan // *Frontiers in Physiology*. – 2018. – Vol. 9 (JUN). – P. 743.

17. Zhang, X. *Wearables, biomechanical feedback, and human motor-skills' learning & optimization* / X. Zhang, G. Shan, Y. Wang et al. // *Applied Sciences (Switzerland)*. – 2019. – Vol. 9 (2). – P. 226.

Илларионова Александра Владимировна, аспирант кафедры спортивно-оздоровительного туризма, спортивной физиологии и медицины, Томский государственный университет. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36. E-mail: alexa.il@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-5211-6505.

Капилевич Леонид Владимирович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой спортивно-оздоровительного туризма, спортивной физиологии и медицины, Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36; старший научный сотрудник, Сибирский государственный медицинский университет, 634050, г. Томск, Московский тракт, 2, E-mail: kapil@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-2316-576X.

Поступила в редакцию 20 мая 2019 г.

DOI: 10.14529/hsm19s101

CHARACTERISTICS OF BRAIN BIOELECTRICAL ACTIVITY DURING FEEDBACK TRAINING

A.V. Illarionova¹, alexa.il@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-5211-6505,
L.V. Kapilevich^{1,2}, kapil@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-2316-576X

¹Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation,

²Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation

Aim. The article deals with studying the effect of feedback training on the characteristics of brain bioelectrical activity. **Materials and methods.** 60 female non-athletes aged 18–20 years participated in the study. Sports training for improving the vestibular analyzer and proprioceptive sensitivity was conducted as well as feedback training with the data for ‘the projected center of mass position’ and ‘applied efforts’ parameters. EEG recording was conducted during the Romberg and Biryuk tests before and after the training course. **Results.** The specificity of the physiological mechanisms of various types of training, aimed at improving the vestibular analyzer and proprioceptive sensitivity, is reflected in the formation of special patterns of bioelectric activity of the cerebral cortex. Traditional training methods have the least effect on EEG characteristics, while biofeedback training is characterized by a more pronounced effect. Along with similar effects (the increased slow activity of theta and delta range, mainly in the frontal area of the cortex, and activation of high-frequency beta activity in the occipital leads), differences are also recorded. If training with the “projected center of mass position” parameter used as a BFB channel was accompanied by suppression of alpha-range activity, then training with the “applied efforts” parameter used as a BFB channel, on the contrary, increased the alpha activity in the occipital cortex. **Conclusion.** The parameters of bioelectrical activity of the cerebral cortex are informative when conducting biofeedback training and can be used to monitor its effectiveness and assess the physiological aspects.

Keywords: biofeedback, coordination, stabilometry, sports training, electroencephalography.

References

1. Popadyukha Yu.A., Korobeynikov G.V. [Prospects for the Use of Computer Systems Huber in the Rehabilitation, Prevention of Injuries and Physical Rehabilitation]. *Pedagogika, psikhologiya i mediko-biologicheskiye problemy fizicheskogo vospitaniya i sporta* [Pedagogy, Psychology and Biomedical Problems of Physical Education and Sport], 2012, no. 1, pp. 88–93. (in Russ.)

2. Sliva A.S., Dzhuplina G.Yu. [Stabilization Simulator]. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki* [News of SFU. Technical Science], 2009, no. 9, pp. 242–244. (in Russ.)
3. Barbado D., Reina R., Roldan A. et al. How Much Trunk Control is Affected in Adults with Moderate-to-Severe Cerebral Palsy? *Journal of Biomechanics*, 2019, vol. 82, pp. 368–374. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2018.11.009
4. Cheron G., Petit G., Cheron J. et al. Brain Oscillations in Sport: Toward EEG Biomarkers of Performance. *Frontiers in Psychology*, 2016, vol. 7. DOI: 10.3389/fpsyg.2016.00246
5. Dükung P., Stammel C., Sperlich B. et al. Necessary Steps to Accelerate the Integration of Wearable Sensors Into Recreation and Competitive Sports. *Current Sports Medicine Reports*, 2018, vol. 17 (6), pp. 178–182. DOI: 10.1249/JSR.0000000000000495
6. Dükung P., Holmberg H.C., Sperlich B. The Potential Usefulness of Virtual Reality Systems for Athletes: A Short SWOT Analysis. *Frontiers in Physiology*, 2018, vol. 9, 128 p. DOI: 10.3389/fphys.2018.00128
7. Ericksen H.M., Thomas A.C., Gribble P.A. et al. Immediate Effects of Real-Time Feedback on Jump-Landing Kinematics. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 2015, vol. 45 (2), pp. 112–118. DOI: 10.2519/jospt.2015.4997
8. Gong A., Liu J., Lua L. et al. Characteristic Differences Between the Brain Networks of High-Level Shooting Athletes and Non-Athletes Calculated Using the Phase-Locking Value Algorithm. *Biomedical Signal Processing and Control*, 2019, vol. 51, pp. 128–137. DOI: 10.1016/j.bspc.2019.02.009
9. Illarionova A.V., Kapilevich L.V. Distinctive Features of Intramuscular and Intermuscular Coordination at Power Graduation in the Context of Balance Training. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2014, vol. 12, pp. 44–46.
10. Ji L., Wang H., Zheng T.Q. et al. Correlation Analysis of EEG Alpha Rhythm is Related to Golf Putting Performance. *Biomedical Signal Processing and Control*, 2019, vol. 49, pp. 124–136. DOI: 10.1016/j.bspc.2018.11.009
11. Jo E., Lewis K., Directo D. et al. Validation of Biofeedback Wearables for Photoplethysmographic Heart Rate Tracking. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2016, vol. 15 (3), pp. 540–547.
12. Kapilevich L.V., Koshelskaya E.V., Krivoschekov S.G. Physiological Basis of the Improvement of Movement Accuracy on the Basis of Stabilographic Training with Biological Feedback. *Human Physiology*, 2015, vol. 41 (4), pp. 404–411. DOI: 10.1134/S036211971504009X
13. Kapilevich L.V., Guzhov F.A., Bredikhina Yu.P., Il'in A.A. Physiological Mechanisms to Ensure Accuracy and Coordination of Movements Under Conditions of Unstable Equilibrium and Moving Target (the Case of Strikes in Sports Karate). *Theory and Practice of Physical Culture*, 2014, vol. 12, pp. 22–24.
14. Kos A., Milutinović V., Umek A. Challenges in Wireless Communication for Connected Sensors and Wearable Devices Used in Sport Biofeedback Applications. *Future Generation Computer Systems*, 2019, vol. 92, pp. 582–592. DOI: 10.1016/j.future.2018.03.032
15. Park J.L., Fairweather M.M., Donaldson D.I. The Case for Mobile Cognition: EEG and Sports Performance. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2015, vol. 52, pp. 117–130. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2015.02.014
16. Peake J.M., Kerr G., Sullivan J.P. A Critical Review of Consumer Wearables, Mobile Applications, and Equipment for Providing Biofeedback, Monitoring Stress, and Sleep in Physically Active Populations. *Frontiers in Physiology*, 2018, vol. 9, p. 743. DOI: 10.3389/fphys.2018.00743
17. Zhang X., Shan G., Wang Y. et al. Wearables, Biomechanical Feedback, and Human Motor-Skills' Learning & Optimization. *Applied Sciences (Switzerland)*, 2019, vol. 9 (2), p. 226. DOI: 10.3390/app9020226

Received 20 May 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Илларионова, А.В. Характеристики биоэлектрической активности головного мозга при тренировке с использованием аппаратов с функцией обратной связи / А.В. Илларионова, Л.В. Капилевич // Человек. Спорт. Медицина. – 2019. – Т. 19, № S1. – С. 7–17. DOI: 10.14529/hsm19s101

FOR CITATION

Illarionova A.V., Kapilevich L.V. Characteristics of Brain Bioelectrical Activity During Feedback Training. *Human. Sport. Medicine*, 2019, vol. 19, no. S1, pp. 7–17. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm19s101