



© К. В. Давлетьярова, Е. В. Медведева, Н. А. Овчинникова, Г. С. Ежова, Л. В. Капилевич

DOI: [10.15293/2226-3365.1805.15](https://doi.org/10.15293/2226-3365.1805.15)

УДК 612.8.01

ХАРАКТЕРИСТИКИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА У СТУДЕНТОВ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ НА ФОНЕ СОЧЕТАНИЯ КОГНИТИВНОЙ И ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК*

К. В. Давлетьярова, Е. В. Медведева, Н. А. Овчинникова,
Г. С. Ежова, Л. В. Капилевич (Томск, Россия)

Проблема и цель. В статье исследуются механизмы физиологической регуляции двигательной активности у людей с ограниченными возможностями здоровья, взаимодействия моторной и когнитивной деятельности. Целью исследования было выявление особенностей биоэлектрической активности головного мозга на фоне сочетания когнитивной и физической нагрузок у студентов с заболеваниями зрительного или опорно-двигательного аппарата.

Методология. В исследовании принимали участие студенты Томского политехнического университета, имеющие ограниченные возможности здоровья (ОВЗ), а также здоровые студенты, занимающиеся физической культурой в основной группе. Возраст: 18–20 лет. Было сформировано три группы: в первую группу вошли студенты с заболеваниями опорно-двигательного аппарата (сколиоз 3–4 степени); вторую группу составили студенты с нарушениями зрения

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №16-18-00016).

Давлетьярова Ксения Валентиновна – кандидат медицинских наук, доцент, отделение физической культуры, Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

E-mail: ksenya-d82@yandex.ru

Медведева Елена Владимировна – аспирант, отделение физической культуры, Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

E-mail: medvelvl@gmail.com

Овчинникова Наталия Андреевна – магистрант, кафедра спортивно-оздоровительного туризма, спортивной физиологии и медицины факультета физической культуры, Национальный исследовательский Томский государственный университет.

E-mail: ona06_1995@mail.ru

Ежова Галина Сергеевна – кандидат биологических наук, доцент, кафедра спортивно-оздоровительного туризма, спортивной физиологии и медицины факультета физической культуры, Национальный исследовательский Томский государственный университет.

E-mail: galinalalaeva@mail.ru

Капилевич Леонид Владимирович – доктор медицинских наук, профессор, отделение физической культуры, Национальный исследовательский Томский политехнический университет; заведующий кафедрой спортивно-оздоровительного туризма, спортивной физиологии и медицины факультета физической культуры, Национальный исследовательский Томский государственный университет.

E-mail: kapil@yandex.ru



(миопия высокой степени); третья группа (контрольная) – студенты, посещающие занятия по физической культуре два раза в неделю в основной группе здоровья. Исследования проводились в два этапа: первый этап (до физической нагрузки) – проведение когнитивного теста, а затем запись ЭЭГ. Второй этап – после нагрузочного теста РВС170, проводился когнитивный тест, а затем исследовалась биоэлектрическая активность мозга методом ЭЭГ.

Результаты. Авторами показано, что физическая активность оказывает модулирующее влияние на когнитивную сферу (в частности, на функции внимания и краткосрочной памяти) и на биоэлектрическую активность мозга. Причем у студентов с заболеваниями органа зрения и опорно-двигательного аппарата указанное влияние выражено в большей степени, чем у здоровых волонтеров. Кроме того, авторами установлено, что характер, уровень и периодичность физических нагрузок, наряду с формированием двигательных стереотипов, оказывают влияние на успешность адаптации студентов к условиям учебной деятельности. Авторы проанализировали взаимосвязь психофизиологических характеристик, эффективность когнитивной деятельности и двигательной активности у студентов с ограниченными возможностями здоровья и обосновали подходы к управлению процессом адаптации студентов с ОВЗ к условиям инклюзии средствами двигательной активности.

Заключение. Взаимное влияние физической и когнитивной деятельности реализуется за счет формирования специфических паттернов активности коры головного мозга, что находит свое отражение в особенностях биоэлектрической активности.

Ключевые слова: физиология; нервная система; электроэнцефалография; миопия; сколиоз; адаптация.

Постановка проблемы

В настоящее время изучение физиологических механизмов регуляции двигательной активности у людей с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) становится все более актуальным. Это связано с тем, что в России внедрена система инклюзивного образования, направленная на снижение социальной дискриминации людей с ограниченными возможностями. Важную роль в решении поставленных задач играет двигательная адаптация студентов к условиям инклюзивного образования. Наиболее распространенными причинами ограничения возможностей здоровья являются заболевания опорно-двигательного и зрительного аппарата.

Наряду с исследованиями биомеханических основ движения, перспективным является изучение показателей, характеризующих

функциональное состояние центральной нервной системы¹ [1].

Известно, что при заболеваниях опорно-двигательного аппарата нарушается система регуляции движений, кроме того, наблюдаются различные когнитивные и психоречевые расстройства, вегетативная дисфункция. При этом страдают неспецифические системы мозга, интегрирующие сложные регуляторные и адаптационно-компенсаторные процессы в организме в целом.

По данным эпидемиологических и клинико-социальных исследований значительную часть инвалидности среди пациентов молодого возраста составляет прогрессирующая

¹ Валева Н. М. Некоторые особенности реабилитации спортсменов после травм опорно-двигательного

аппарата // Теория и практика физической культуры. – 2004. – № 1. – С. 28.



близорукость [2]²³. Одними из основных причин прогрессирования близорукости являются: сосудистые нарушения органа зрения в результате цервикальной недостаточности, изменения функций ЦНС, окислительно-восстановительных процессов в организме и нарушения ферментативных процессов [3–6]. Близорукость чаще возникает на фоне нарушения кровоснабжения зрительного анализатора, связанного с патологией кровообращения в позвоночных сосудах и заболеваниями ЦНС [7–10]. Как известно, двигательная активность (ДА) – это естественная потребность человека в движении, которая включает сумму всех движений, выполняемых человеком в процессе жизнедеятельности⁴. В результате удовлетворения потребности человека в движении происходит его всестороннее развитие, а также взаимодействие с внешней средой [11].

В основе двигательной деятельности лежат процессы координации движений, которые осуществляются в результате сложного взаимодействия различных отделов центральной нервной системы (ЦНС), в том числе с включением высших форм деятельности головного мозга [12]. Кроме того, исходя из «Теории функциональных систем», предложенной П. К. Анохиным (1975), можно объяснить механизмы саморегуляции физиологических процессов и структуры поведенческих реакций организма. Во время движений ЦНС перерабатывает большой объем информации,

связанный с проприоцептивной афферентацией от мышц, а функциональное состояние всех отделов ЦНС повышается⁵. Происходит активизация деятельности гипоталамо-гипофизарной системы за счет корковых посылок и рефлекторных влияний с периферии. Повышается жизненный тонус организма за счет увеличения его функциональных резервов⁶. Возрастают устойчивость к стрессорным факторам, физическая и психическая работоспособность. Повышается частота усвоения ритма раздражений, усиливается выраженность альфа-ритма в состоянии покоя⁷.

При этом важно не только состояние адаптации, но и дезадаптации, которое характеризуется недостаточным диапазоном приспособления организма даже в адекватных условиях среды.

Стоит отметить, что для оценки функционального состояния человека требуется интегральная оценка многих функций организма. По мнению ряда авторов, электрическая активность мозга является нейрофизиологической результирующей процессов адаптации и дезадаптации⁸, которая при выполнении физических нагрузок, особенно у людей с ОВЗ, может изменять свою функциональную активность [13].

У людей, занимающихся различными видами двигательной активности, наиболее интересными являются показатели, характеризующие функциональное состояние ЦНС, так как ведущая роль в перестройке организма

² Ястребцева Т. А., Демидова Т. Е., Поликарпова В. Е. Состояние интракраниального венозного кровотока у школьников 12–15 лет с близорукостью // Рефракционные и глазодвигательные нарушения: Труды международной конференции. – М., 2007. – С. 186–188.

³ Либман Е. С., Шахова Е. В. Слепота и инвалидность по зрению в населении России // Тез. докл. VIII съезда офтальмологов России. – 2005. – С. 78.

⁴ Baranova E., Kapilevich L. The role in ensuring peripheral blood flow as a function of balance for older women // AIP Conference Proceedings. – 2015. – 1688,030034.

⁵ Анохин П. К. Узловые вопросы теории функциональной системы. – М.: Наука, 1980. – 197 с.

⁶ Павлов С. Е. Адаптация. – М.: Паруса, 2000. – 282 с.

⁷ Покровский В. М., Коротко Г.Ф. Физиология человека. – М.: Медицина, 2007. – 656 с.

⁸ Бехтерева Н. П. Механизмы деятельности мозга человека. Часть I. Нейрофизиология человека. – Л.: Наука, 1988. – 677 с.

под влиянием двигательной активности принадлежит ЦНС, а именно высшему ее отделу – коре больших полушарий⁹.

На сегодняшний день одним из перспективных методов изучения функционального состояния головного мозга у людей с различным уровнем двигательной активности, индивидуальными особенностями формирования двигательных навыков, психологических и когнитивных функций является не инвазивный и безопасный метод *электроэнцефалография*^{10, 11} [14–17].

Исследование механизмов функционирования головного мозга представляет собой актуальное направление. Например, проблема связи психофизиологических и когнитивных особенностей, функционального состояния коры головного мозга и подкорковых структур с особенностями уровня двигательной активности человека на сегодняшний день остается недостаточно изученной.

Цель исследования – выявление особенностей биоэлектрической активности головного мозга на фоне сочетания когнитивной и физической нагрузок у студентов с заболеваниями зрительного или опорно-двигательного аппарата.

Методология исследования

В исследовании принимали участие студенты Томского политехнического университета, имеющие ограниченные возможности здоровья (ОВЗ), а также здоровые студенты, занимающиеся физической культурой в основной группе. Возраст: 18–20 лет.

Контрольная группа состояла из студентов, посещавших занятия два раза в неделю в

основной группе здоровья. В первой экспериментальной группе участвовали студенты с ограниченными возможностями здоровья с заболеваниями опорно-двигательного аппарата: сколиоз III–IV степени. Вторая экспериментальная группа включала студентов с миопией высокой степени. В каждой группе было по 10 человек ($n = 10$).

Электроэнцефалографическое обследование выполнялось на программно-аппаратном комплексе «Нейрон-спектр 4/П» (Нейро-софт, Россия) в системе отведений «10-20» (рис. 1) по 8 каналам (лобные (FP), область центральной борозды (C), височные (T), затылочные (O) электроды).

Процедура исследования включала запись ЭЭГ при проведении фоновой записи (в состоянии относительного покоя) – 180 с.

В ходе электроэнцефалографического исследования была проведена оценка следующих параметров:

- средняя амплитуда спектра для альфа-, бета- и тета-, дельта-диапазонов;
- средняя мощность частотных спектров для альфа-, бета- и тета-, дельта-диапазонов.

Показатели оценивались для альфа-, бета- и тета-диапазонов в лобных (FP), центральных (C), височных (T) и затылочных (O) областях коры головного мозга.

Дизайн исследования представлен на рисунке 1.

Электроэнцефалографическое обследование проводилось в два этапа: до и после физической нагрузки, в качестве которой использовался тест PWC170 [18–22]¹².

⁹ Дубровский В. И. Спортивная медицина. – М.: ВЛАДОС, 2002. – 512 с.

¹⁰ Кирой В. Н., Ермаков П. Н. Электроэнцефалограмма и функциональные состояния человека. – Ростов-н-Д.: Изд-во Рост. ун-та, 1998. – 264 с.

¹¹ Freeman W. J. The electrical activity of a primary sensory cortex: the analysis of EEG waves // International Review of Neurobiology. – 1963. – Vol. 5. – P. 53–119.

¹² Щербанова Е. И. Изменения ритмов ЭЭГ при вербальном и наглядно-образном мышлении // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 1988. – Т. 38, № 4. – С. 627.

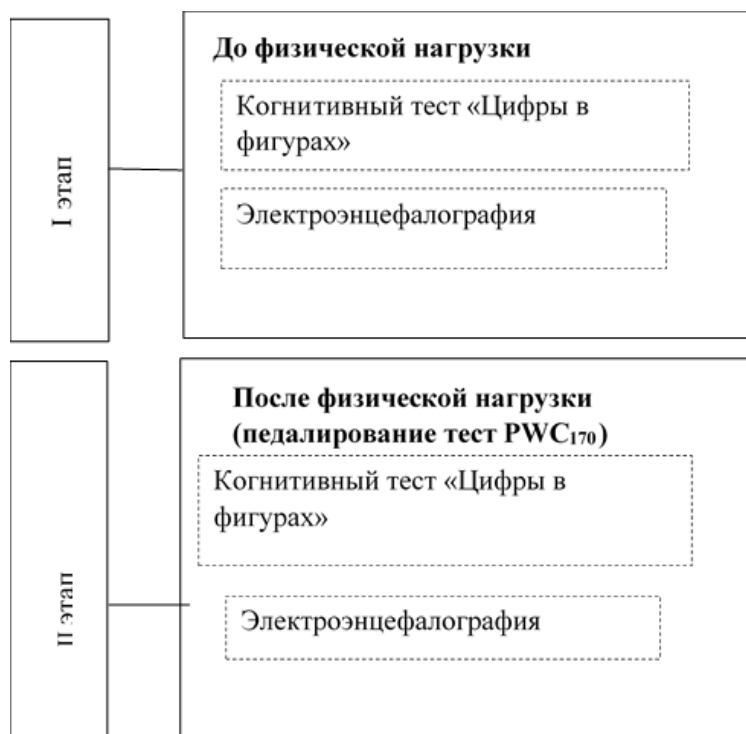


Рис. 1. Дизайн исследования

Fig. 1. Design study

PWC – Physical Working Capacity, физическая работоспособность.

Во время записи ЭЭГ испытуемым был предложен тест «Цифры в фигурах», который проводился с целью определения объема и распределения внимания у испытуемых. Предварительно тест предлагали выполнить всем испытуемым 3–4 раза для устранения фактора научения.

На первом этапе обследуемым снималась электроэнцефалограмма в состоянии покоя с закрытыми глазами (фоновая запись) в течение 30 сек. Затем после команды «открыть глаза» испытуемому на несколько секунд показывали карточку, где были изображены три геометрические фигуры, в каждой из которой было расположено однозначное число. В течение следующих 30 секунд испытуемый должен был мысленно сосчитать сумму этих чисел и запомнить их порядок и расположение (в какой фигуре какая цифра), а после окончания

записи назвать сумму и ответить, в каких фигурах какие числа были написаны.

Затем испытуемый в качестве физической нагрузки выполнял тест PWC₁₇₀, основанный на существовании линейной зависимости между ЧСС и мощностью физической нагрузки. В тесте предлагались две нагрузки возрастающей мощности на велоэргометре длительностью по пять минут каждая, без предварительной разминки, с интервалом отдыха три минуты. Величина первой нагрузки задавалась в зависимости от массы тела испытуемого, мощность второй нагрузки задавалась с учетом ЧСС, вызванной первой нагрузкой. Частота педальирования – 60–70 об/мин. В конце пятой минуты каждой нагрузки (за последние 30 с) регистрировали ЧСС.

Расчет показателя осуществлялся по формуле:

$$[[PWC]]_{170} = W_1 + ((W_2 - W_1) \cdot (170 - f_1)) / (f_2 - f_1),$$

где PWC₁₇₀ – уровень физической работоспособности при 170 уд/мин.; W₁ и W₂ – мощность первой и второй нагрузки, соответственно; f₁ и f₂ – частота сердечных сокращений после первой и второй нагрузки, соответственно [23].

На втором этапе, сразу после выполнения теста, проводилась запись ЭЭГ в том же порядке, что и до нагрузки. Во время выполнения когнитивного теста испытуемому показывали другую карточку, содержащую цифры и фигуры, отличные от первой (рис. 1).

Статистическая обработка данных была проведена с помощью программы STATISTICA 8.0 и включала расчет описательных выборочных параметров и сравнительный анализ выборок с использованием статистических критериев Манна–Уитни для независимых выборок и Вилконсона для зависимых выборок. За статистически значимое различие принимали $p \leq 0,05$.

Результаты исследования

В ходе электроэнцефалографического исследования была проведена оценка следующих параметров:

- средняя амплитуда спектра для альфа-, бета- и тета-, дельта-диапазонов;
- средняя мощность частотных спектров для альфа-, бета- и тета-, дельта-диапазонов.

Для спектрального анализа использовали 60-секундные отрезки безартефактной записи, подразделявшиеся на четырехсекундные эпохи, подвергавшиеся быстрому преобразованию Фурье с использованием окна

Ханна. Преобразование Фурье позволяет разложить сигнал на три гармонические составляющие без какой-либо потери информации: амплитуда, начальная фаза, частота. Зависимость амплитуды и фазы от частоты называется спектром¹³¹⁴.

Вычисление спектров мощности ЭЭГ позволяет получить характеристику частотного состава ЭЭГ в количественных величинах (мкВ/2). При анализе спектров рассматривается мощность или амплитуда частотных составляющих ЭЭГ за данный исследуемый отрезок времени, за счет чего можно определить соотношение мощности разных ритмов ЭЭГ и выявить те частоты, которые невозможно выявить при визуальном анализе.

Эти показатели оценивались для альфа-, бета- и тета-диапазонов в лобных (FP), центральных (C), височных (T) и затылочных (O) областях коры головного мозга.

При выполнении когнитивного теста до физической нагрузки в контрольной группе было зарегистрировано доминирование альфа-активности в лобных отведениях. Наблюдалась функциональная асимметрия ритма с незначительным превышением средней амплитуды спектра в левом полушарии в лобном отделе в группе студентов с заболеваниями опорно-двигательного аппарата. Однако в группе студентов с заболеваниями зрительного аппарата было зафиксировано смещение максимума амплитуды спектра в левом полушарии в сторону затылочного отдела (табл. 1).

¹³ Чадова И. Н. Особенности компонентов динамики хронограммы церебральной активности женщин в возрасте от 16 до 45 лет: дисс. канд. биол. наук. – Майкоп, 2014. – 156 с.

¹⁴ Кулаичев А. П. Компьютерная электрофизиология и функциональная диагностика: учебное пособие. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ФОРУМ: ИНФРА – М., 2007. – 640 с.

Таблица 1

Средняя амплитуда спектра альфа-ритма во время выполнения когнитивного теста до и после физической нагрузки, ($X_{cp} \pm m$ мкВ/с)

Table 1

The mean amplitude of the alpha-rhythm spectrum during the performance of the cognitive test before and after exercise, ($X_{cp} \pm m$ mkV/s)

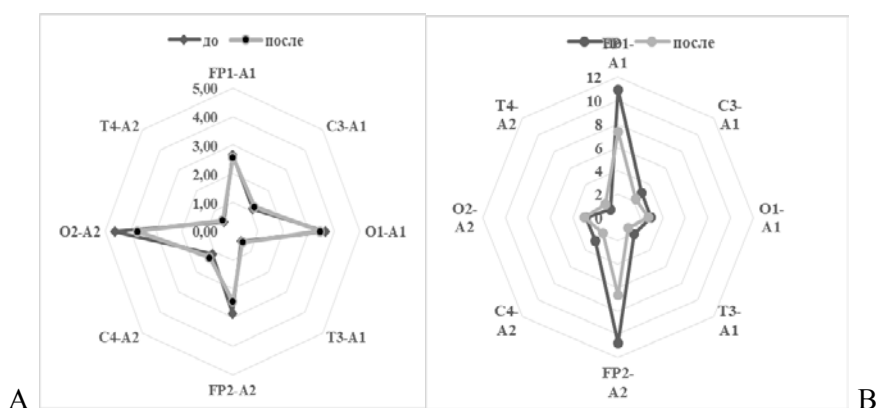
	Альфа ритм миопия		Альфа ритм ода		Альфа ритм контроль	
	до	после	до	после	до	после
FP1-A1	1,21±0,14#	1,21±0,12#	1,20 ± 0,06#	1,14 ± 0,17*#	2,41 ± 0,9*#	2,02 ± 0,15#
OC3-A1	0,81±0,10#	0,86±0,12#	1,21 ± 0,29	0,92 ± 0,31*#	1,3 ± 0,35*#	1,22 ± 0,22#
O1-A1	1,29±0,15	1,29±0,16	2,04 ± 0,18#	2,44 ± 0,21*#	1,29 ± 0,31#	1,29 ± 0,19#
T3-A1	0,54±0,07#	0,60±0,07	0,6 ± 0,08	0,87 ± 0,18*	0,92 ± 0,1#	0,91 ± 0,15#
FP2-A2	1,24±0,16#	1,19±0,11#	1,21 ± 0,86#	1,56 ± 0,46*#	2,41 ± 0,85#	1,95 ± 0,43*#
C4-A2	0,82±0,08#	0,89±0,10#	1,23 ± 0,26	1,47 ± 0,31*#	1,25 ± 0,29	1,16 ± 0,41*
O2-A2	1,51±0,21#	1,39±0,13*	1,80 ± 0,26#	2,44 ± 0,27*#	1,37 ± 0,17	1,38 ± 0,17
T4-A2	0,56±0,05#	0,62±0,05#	0,70 ± 0,06#	0,92 ± 0,15*	1,21 ± 0,14	0,98 ± 0,18*

* – достоверность различий до и после физической нагрузки, $p < 0,05$
 # – достоверность различий между экспериментальной и контрольной группами, $p < 0,05$

Кроме регистрации средней амплитуды спектра, параллельно фиксировалась мощность частотных спектров. Было показано, что в группе контроля мощность спектра альфа ритма доминирует симметрично в зоне лобного отдела коры головного мозга.

В обеих экспериментальных группах было отмечено смещение максимальной мощности спектра в сторону затылочного отдела

коры больших полушарий, причем в группе с заболеваниями опорно-двигательного аппарата сдвиг был достоверно ($p < 0,05$) больше, при этом стоит отметить, что в группе студентов с миопией смещение средней амплитуды спектра было в правую сторону, тогда как во второй экспериментальной группе сдвиг спектра был влево (рис. 2).



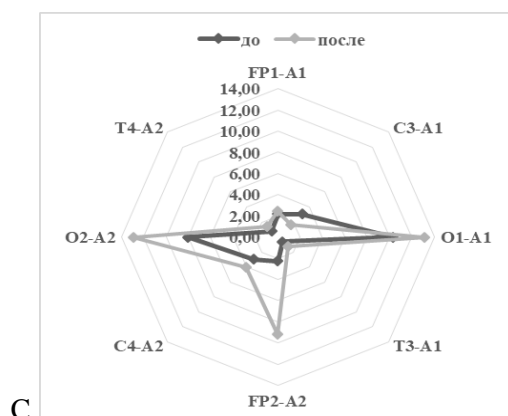


Рис. 2. Средняя мощность спектра альфа активности на фоне физической и когнитивной нагрузки, $\text{mkV}^2/\text{с}$
Примечание. А – группа с миопией; В – контрольная группа; С – группа с заболеваниями опорно-двигательного аппарата.

Fig. 2. The average power of the spectrum of alpha activity against the background of physical and cognitive load, mkV^2/s

Note. A – group with myopia; B – control group; C – group with diseases of the musculoskeletal system.

После выполнения физической нагрузки так же проведено исследование когнитивных функций. Было показано, что средняя амплитуда и мощность осцилляций альфа ритма, напротив, увеличивалась в группе студентов с заболеваниями опорно-двигательного аппарата во всех отделах коры головного мозга, в отличие от группы студентов с миопией, где было зарегистрировано достоверное ($p < 0,05$) уменьшение в затылочной области слева (табл. 2). В контрольной группе было отмечено снижение как амплитуды частотных спектров альфа волн, так и мощности спектра.

Таким образом, было показано, что у студентов с миопией было выражено смещение амплитуды спектра в затылочную область коры больших полушарий, что, возможно связано с чрезмерным включением зрительного анализатора при выполнении тестов. Есть основания полагать, что по характеру доминирования альфа-колебаний можно судить о преобладании словесно-логического (левое полушарие) или конкретно-образного (правое полушарие) мышления.

После физической нагрузки, в состоянии утомления увеличение мощности спектра в

группе студентов с заболеваниями опорно-двигательного аппарата может свидетельствовать о чрезмерном напряжении функциональных систем после физической нагрузки. Существуют мнения о том, что в состоянии активного бодрствования (в условиях интеллектуальной деятельности, при выполнении корректурной пробы, зрительном слежении, в процессе решения вербальных и невербальных тестовых заданий) происходит снижение амплитуды и мощности альфа-частот [21].

Полученные нами данные об изменении альфа активности при выполнении когнитивного теста до и после физической нагрузки, по всей видимости связаны с тем, что у студентов с заболеваниями опорно-двигательного аппарата выше уровень эмоциональной устойчивости, т. е. такие студенты более адаптированы к условиям инклюзии.

Стоит отметить, что в обеих экспериментальных группах было зарегистрировано изменение амплитуды и мощности частотных спектров тета-ритма при выполнении когнитивного теста до и после физической нагрузки (табл. 2).

Таблица 2

Средняя амплитуда спектра тета-ритма во время выполнения когнитивного теста до и после физической нагрузки, ($X_{cp} \pm m$ мкВ/с)

Table 2

The average amplitude of the theta-rhythm spectrum during the performance of the cognitive test before and after exercise, ($X_{cp} \pm m$ mkV/s)

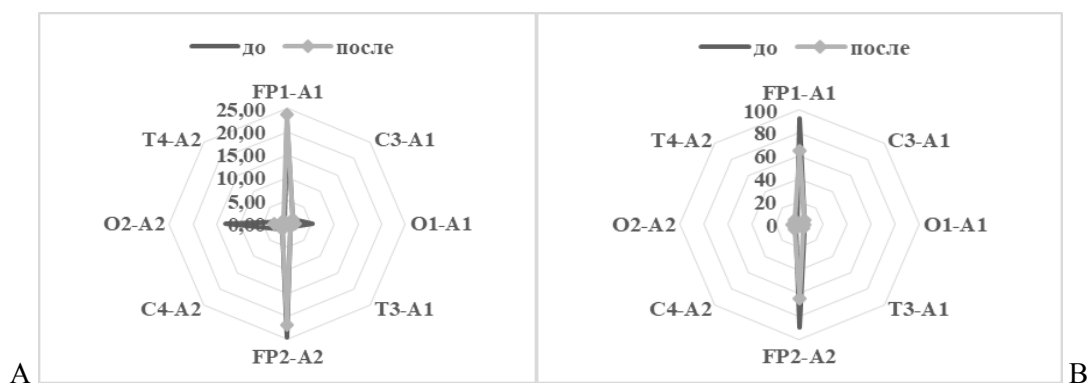
	Тета ритм миопия		Тета ритм ода		Тета ритм контроль	
	до	после	до	после	до	после
FP1-A1	3,07 ± 0,47#	3,12 ± 0,51	2,46 ± 0,18#	2,74 ± 0,50#	6,94 ± 1,12	5,88 ± 1,24*
C3-A1	1,07 ± 0,08#	1,09 ± 0,07#	1,13 ± 0,03#	1,04 ± 0,13#	1,85 ± 0,17	1,89 ± 0,21
O1-A1	1,29 ± 0,33*#	1,09 ± 0,07*#	1,21 ± 0,10*#	1,33 ± 0,10*	1,54 ± 0,21*	1,37 ± 0,25*
T3-A1	0,74 ± 0,06#	0,84 ± 0,06#	0,63 ± 0,01*#	1,11 ± 0,47*#	1,44 ± 0,14	1,49 ± 0,19
FP2-A2	3,22 ± 0,50*#	3,02 ± 0,46*#	2,52 ± 0,18*#	2,92 ± 3,88*#	6,88 ± 0,75*	5,88 ± 0,90*
C4-A2	1,06 ± 0,07#	1,07 ± 0,09#	1,12 ± 0,11#	1,20 ± 0,17#	1,76 ± 0,31*	1,87 ± 0,24*
O2-A2	1,93 ± 0,56*#	1,26 ± 0,21*#	1,17 ± 0,16*#	1,37 ± 0,28*#	1,68 ± 0,24	1,63 ± 0,24
T4-A2	0,74 ± 0,06#	0,82 ± 0,06	0,72 ± 0,07*#	1,04 ± 0,40*#	1,21 ± 0,22*	1,74 ± 0,15*

* – достоверность различий до и после физической нагрузки, $p < 0,05$
 # – достоверность различий между экспериментальной и контрольной группами, $p < 0,05$

При выполнении когнитивного теста до физической нагрузки во всех исследуемых группах было зарегистрировано доминирование тета-диапазона в лобных отведениях, при этом в группе студентов с миопией наблюдалась небольшая функциональная асимметрия амплитуды спектра вправо в затылочном отделе коры головного мозга (табл. 3).

При анализе мощности частотных спектров тета-ритма в контрольной группе и

группе студентов с миопией был выявлен резкий симметричный сдвиг спектра во фронтальную область, причем у студентов с нарушениями зрения было зафиксировано смещение спектра в затылочную области справа. В группе с нарушениями опорно-двигательного аппарата был также сдвиг спектра во фронтальной области, но с меньшей амплитудой, чем в двух других группах (рис. 3).



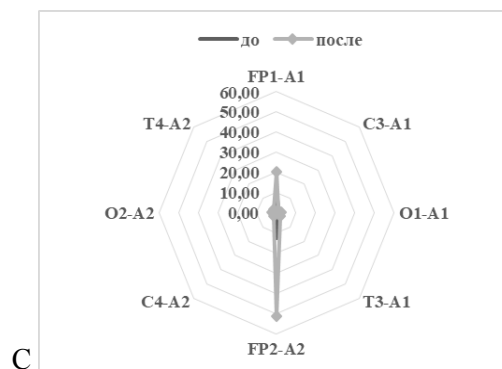


Рис. 3. Средняя мощность спектра тета-активности на фоне физической и когнитивной нагрузки, $\text{mkV}^2/\text{с}$
Примечание. А – группа с миопией; В – контрольная группа; С – группа с заболеваниями опорно-двигательного аппарата.

Fig. 3. Average power of the spectrum of the theta activity against the background of physical and cognitive load, mkV^2/s

Note. А – group with myopia; В – control group; С – group with diseases of the musculoskeletal system.

После физической нагрузки результаты когнитивного теста изменились. Достоверный ($p < 0,05$) тотальный прирост амплитуды и мощности тета-ритма был получен в группе студентов с заболеваниями опорно-двигательного аппарата, в группе с студентами с миопией наблюдалось несимметричное снижение амплитуды и мощности спектра тета-ритма, более выраженное в правом отделе коры головного мозга. В группе контроля сохранялся сдвиг спектра во фронтальную область, но с меньшей амплитудой и мощностью, чем до физической нагрузки (табл. 2, рис. 3).

Вопрос о функциональном значении тета-ритма до сегодняшнего дня остается предметом дискуссий. Однако существуют факты, позволяющие рассматривать этот ритм как показатель состояния психофизиологической направленности человека, индикатор эмоционального возбуждения, «ритм напряжения»¹⁵. Полученные нами результаты, соотнесенные с изложенными данными литературы, позволяют высказать предположение, что изменение

показателей активности тета-ритма при переходе от состояния покоя к выполнению когнитивного теста до и после физической нагрузки в группах с различными заболеваниями отражает функциональное состояние корковых и подкорковых структур, которые непосредственно связаны с обеспечением оптимальной деятельности в созданных условиях.

Так, показано, что студенты с заболеваниями опорно-двигательного аппарата больше подвержены утомлению как умственному, так и физическому.

Полученные результаты исследования свидетельствуют о том, что от характера заболевания зависит влияние кратковременных физических нагрузок на показатели когнитивной деятельности спортсмена, это влияние реализуется через механизмы формирования специфических паттернов биоэлектрической активности коры головного мозга.

Амплитудная характеристика спектра дельта-ритма имела ряд особенностей. Данные ЭЭГ при выполнении когнитивного теста

¹⁵ Русалов В. М., Кошман С. А. Дифференциально-психологический анализ интеллектуального поведения

человека в вероятностной среде // Психофизиологические исследования интеллектуальной саморегуляции и активности. – М.: Наука, 1980. – С. 7–57.

до физической нагрузки характеризуются резким увеличением мощности и амплитуды спектра в экспериментальных группах студентов во фронтальной области, причем достоверно ($p < 0,05$) большим в группе студентов с миопией.

После выполнения физической нагрузки, было зарегистрировано увеличение ($p < 0,05$) амплитуды и мощности дельта-волн

во всех отделах коры головного мозга в группе студентов с заболеваниями опорно-двигательного аппарата. Во второй группе амплитуда снижалась, в большей степени в затылочной области обеих полушарий. При этом мощность частотных спектров дельта-волн достоверное увеличивалась симметрично в лобной области и резко снижалась в затылочной (рис. 4).

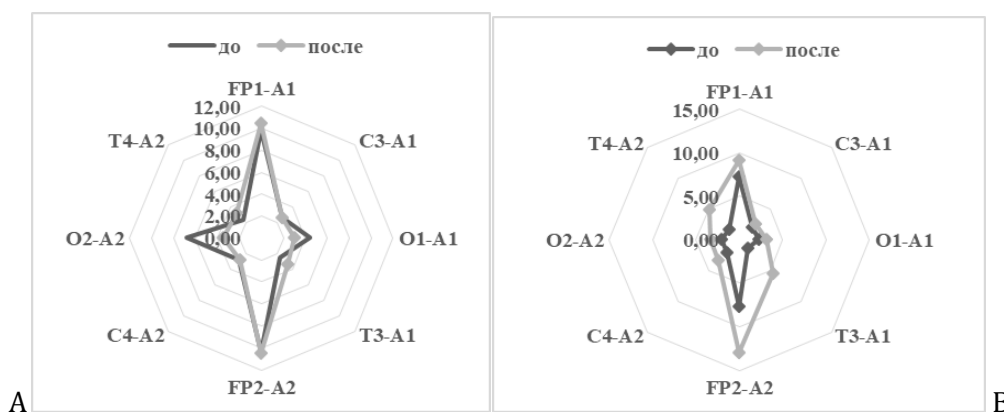


Рис. 4. Средняя амплитуда спектра дельта активности на фоне физической и когнитивной нагрузки обеих групп, мкВ²/с

Примечание. А – группа с миопией, В – группа с заболеваниями опорно-двигательного аппарата.

Fig. 4. The average amplitude of the spectrum of delta activity against the background of the physical and cognitive load of both groups, mkV²/s.

Note. А – group with myopia, В – group with diseases of the musculoskeletal system.

При выполнении когнитивного теста до физической нагрузки в группе контроля зарегистрировано доминирование низкочастотного бета-ритма в лобных отведениях и затылочном отведении в правом полушарии.

В группе студентов с заболеваниями зрительного аппарата наблюдалось небольшое повышение амплитуды в затылочной области, преимущественно справа, тогда как во второй экспериментальной группе было зафиксировано симметричное увеличение амплитуды спектра в лобной области коры головного мозга (табл. 3).

В состоянии относительного покоя большая средняя мощность спектра низкочастот-

ного бета-ритма в обеих группах концентрируется в лобных отделах и затылочных. Во время выполнения когнитивного теста до физической нагрузки в лобном отделе наблюдается значительное превышение средней мощности спектра в правом полушарии в контрольной группе. В затылочном отделе средняя мощность спектра ритма больше в правом полушарии в группе с нарушениями зрения.

При проведении когнитивного теста после физической нагрузки были выявлены значительные различия между двумя группами. В отличие от амплитуды альфа-, тета- и дельта-ритма, значения осцилляций амплитуды низкочастотного бета-ритма, значительно меньше.

Так, в группе студентов с миопией было зарегистрировано небольшое снижение амплитуды и мощности ритма в затылочной области справа увеличение в теменной слева. Во второй группе было отмечено увеличение амплитуды

низкочастотного бета-ритма в передних отделах коры головного мозга и в затылочной области справа. При этом было зарегистрировано тотальное увеличение мощности спектра низкочастотного бета-ритма (рис. 5)

Таблица 3

Средняя амплитуда спектра низкочастотного бета-ритма во время выполнения когнитивного теста до и после физической нагрузки, (мкВ/с)

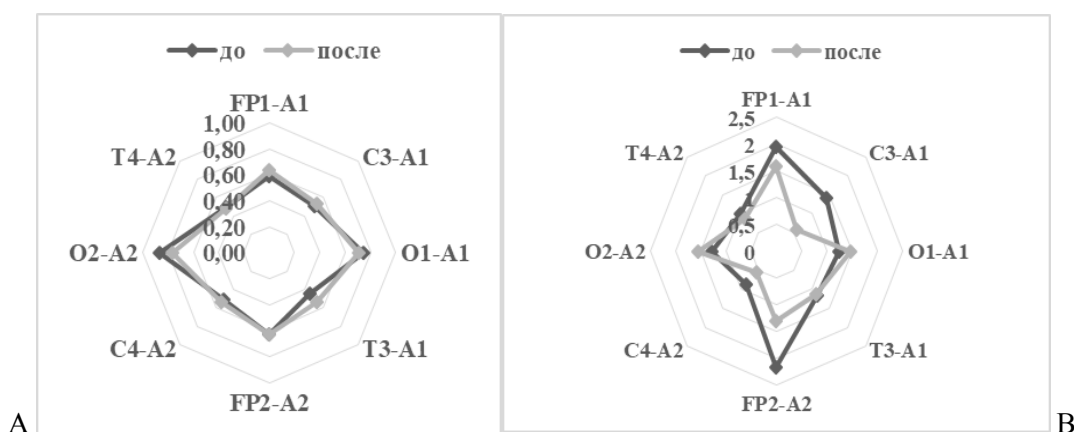
Table 3

The mean amplitude of the low-frequency beta-rhythm spectrum during the performance of the cognitive test before and after exercise, (mkV/s)

Хср ± m

	Низкочастотный бета ритм миопия		Низкочастотный бета ритм ода		Низкочастотный бета ритм контроль	
	до	после	до	после	до	после
FP1-A1	0,59 ± 0,05#	0,63 ± 0,04#	0,72 ± 0,16*#	0,61 ± 0,15*#	1,11 ± 0,12	1,05 ± 0,15
C3-A1	0,50 ± 0,05#	0,54 ± 0,05#	0,50 ± 0,01#	0,51 ± 0,01#	0,9 ± 0,1*	0,78 ± 0,19*
O1-A1	0,74 ± 0,09	0,71 ± 0,08#	0,71 ± 0,04	0,78 ± 0,01#	0,79 ± 0,11*	0,96 ± 0,19*
T3-A1	0,45 ± 0,05*#	0,54 ± 0,04*#	0,40 ± 0,07*#	0,51 ± 0,15*#	0,85 ± 0,08	0,88 ± 0,1
FP2-A2	0,62 ± 0,06#	0,63 ± 0,03#	0,73 ± 0,16*#	0,86 ± 0,08*#	1,19 ± 0,18*	0,97 ± 0,05*
C4-A2	0,51 ± 0,05#	0,53 ± 0,05#	0,54 ± 0,02#	0,62 ± 0,03#	0,78 ± 0,12	0,74 ± 0,12
O2-A2	0,87 ± 0,12*#	0,77 ± 0,08*#	0,69 ± 0,08*#	0,79 ± 0,08*#	0,96 ± 0,06	1,03 ± 0,1
T4-A2	0,49 ± 0,05#	0,48 ± 0,03#	0,54 ± 0,11#	0,62 ± 0,14#	0,81 ± 0,07	0,76 ± 0,09

* – достоверность различий до и после физической нагрузки, $p < 0,05$
 # – достоверность различий между экспериментальной и контрольной группами, $p < 0,05$



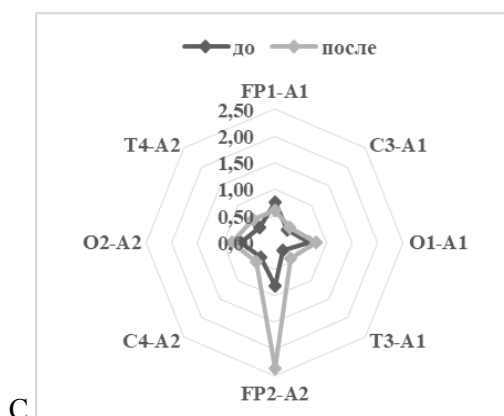


Рис. 5. Средняя мощность спектра низкочастотной бета-активности на фоне физической и когнитивной нагрузки, $\text{mkV}^2/\text{с}$

Примечание. А – группа с миопией; В – контрольная группа; С – группа с заболеваниями опорно-двигательного аппарата.

Fig. 5. Average power of the spectrum of low-frequency beta activity against the background of physical and cognitive load, mkV^2 / s

Note. А – group with myopia; В – control group; С – group with diseases of the musculoskeletal system.

При анализе высокочастотного бета-ритма на ЭЭГ при выполнении когнитивного теста до физической нагрузки во всех группах величина амплитуды спектра распределена отно-

сительно равномерно, но в группе контроля величина амплитуды спектра достоверно превышает показатели экспериментальной группы (табл. 4).

Таблица 4

Средняя амплитуда спектра высокочастотного бета-ритма во время выполнения когнитивного теста до и после физической нагрузки, ($X_{\text{ср}} \pm m \text{ mkV/s}$)

Table 4

The mean amplitude of the high-frequency beta-rhythm spectrum during the performance of the cognitive test before and after exercise, ($X_{\text{ср}} \pm m \text{ mkV/s}$)

	Высокочастотный бета ритм миопия		Высокочастотный бета ритм ода		Высокочастотный бета ритм контроль	
	до	после	до	после	до	после
FP1-A1	0,38 ± 0,02#	0,41 ± 0,01#	0,54 ± 0,18#	0,42 ± 0,19#	0,74 ± 0,07	0,73 ± 0,07
С3-A1	0,33 ± 0,03#	0,35 ± 0,03#	0,32 ± 0,01#	0,33 ± 0,03#	0,78 ± 0,09	0,61 ± 0,07
О1-A1	0,49 ± 0,05#	0,47 ± 0,05#	0,42 ± 0,01#	0,47 ± 0,03#	0,59 ± 0,02	0,66 ± 0,09
Т3-A1	0,36 ± 0,05#	0,43 ± 0,03#	0,31 ± 0,06#	0,36 ± 0,12#	0,81 ± 0,08	0,83 ± 0,08
FP2-A2	0,39 ± 0,02#	0,40 ± 0,01#	0,62 ± 0,21#	0,62 ± 0,15#	0,85 ± 0,07*	0,63 ± 0,07*
С4-A2	0,32 ± 0,02#	0,32 ± 0,02#	0,32 ± 0,02#	0,40 ± 0,07#	0,59 ± 0,07	0,52 ± 0,06
О2-A2	0,54 ± 0,07	0,48 ± 0,04#	0,40 ± 0,03#	0,47 ± 0,05#	0,63 ± 0,04*	0,78 ± 0,07*
Т4-A2	0,42 ± 0,07#	0,37 ± 0,03#	0,43 ± 0,12#	0,45 ± 0,14#	0,7 ± 0,05	0,63 ± 0,09

* – достоверность различий до и после физической нагрузки, $p < 0,05$

– достоверность различий между экспериментальной и контрольной группами, $p < 0,05$

Показатели мощности высокочастотного бета-спектра до физической нагрузки, в целом, аналогичны параметрам амплитуды спектра. Но в группе студентов с заболеваниями

опорно-двигательного аппарата регистрировалось увеличение показателя в затылочной области справа (рис. 6).

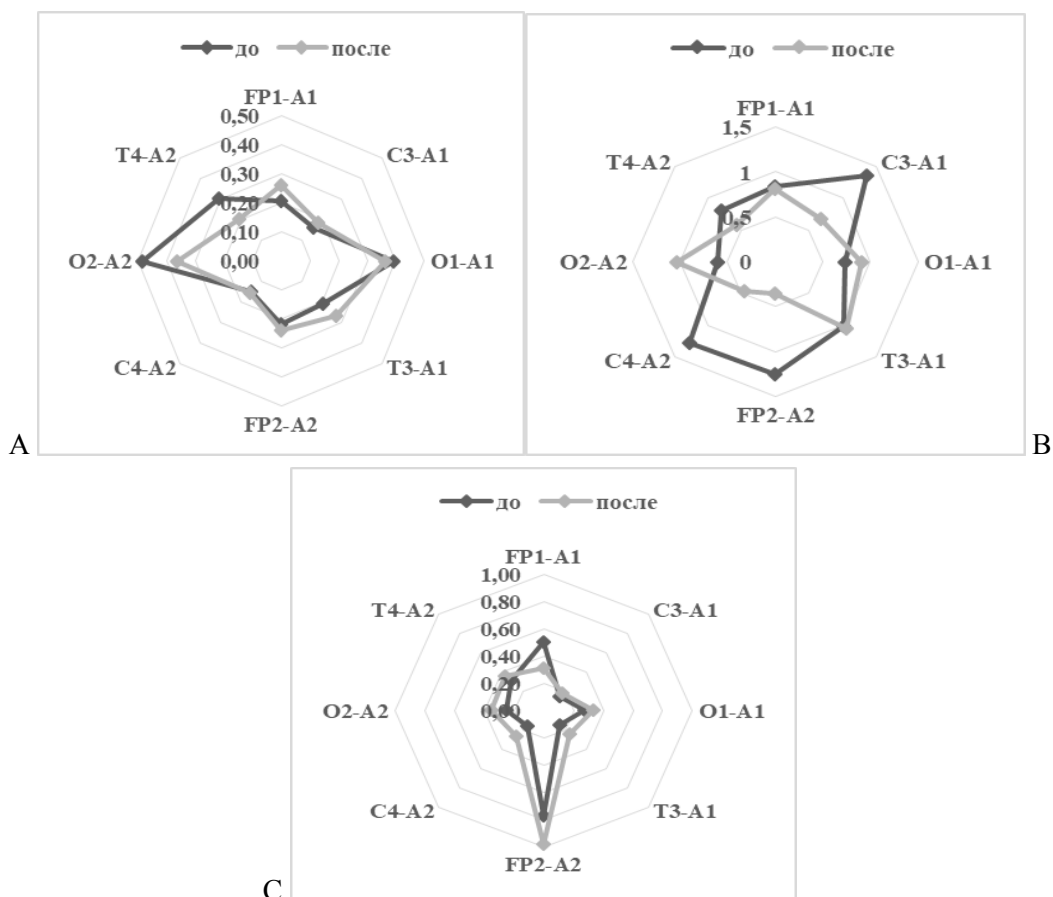


Рис. 6. Средняя мощность спектра высокочастотной бета активности на фоне физической и когнитивной нагрузки обеих групп, $\text{mkV}^2/\text{с}$

Примечание. А – группа с миопией; В – контрольная группа; С – группа с заболеваниями опорно-двигательного аппарата.

Fig. 6. Average power spectrum of high-frequency beta activity against the background of physical and cognitive load of both groups, mkV^2 / s

Note. А – group with myopia; В – control group; С – group with diseases of the musculoskeletal system.

После физической нагрузки данные ЭЭГ при выполнении когнитивного теста изменились: мощность спектра бета-ритма выросла во всех зонах коры головного мозга. Однако в группе с заболеваниями зрительного аппарата было достоверное снижение частоты мощности спектра бета-активности в затылочной области слева и справа (рис. 6).

Сейчас изменение амплитудных и частотных характеристик бета-диапазона является предметом дискуссии. Например, в работах G. Dolce и H. Waldeier (1974) указывается на то, что повышение уровня активации мозга при решении арифметических задач, при чтении текста и просто при открывании глаз свя-



зано с ростом мощности бета-частот¹⁶. По результатам исследований показано, что студенты с заболеваниями опорно-двигательного аппарата более эмоциональны. Полученные нами характеристики бета-активности могут быть связаны с различной степенью активации нервных центров при выполнении физических упражнений в разных группах и отражать уровень адаптационного потенциала, степень эмоциональной стабильности устойчивости к стрессовым ситуациям.

Заключение

Полученные результаты позволяют говорить об определенных паттернах ритмики ЭЭГ, специфичных для студентов с ограниченными возможностями здоровья. При этом показано, что уровень когнитивной деятельности и биоэлектрической активности головного мозга напрямую зависит от физической активности, причем у студентов с заболеваниями зрительного или опорно-двигательного аппарата данная зависимость выражена ярче, чем у

здоровых. Все это непосредственно связано с особенностями приспособления организма к определенному уровню двигательной активности, а также приобретенных и закрепленных специфичных двигательных навыков. Характер, уровень и периодичность физических нагрузок наряду с формированием двигательных стереотипов, оказывают влияние на адаптацию студентов к учебной деятельности. Это влияние реализуется через механизмы формирования специфических паттернов биоэлектрической активности коры головного мозга.

Таким образом, проведенное исследование взаимосвязи психофизиологических характеристик, эффективность когнитивной деятельности и двигательной активности у студентов с ограниченными возможностями здоровья позволяет предположить, что специальные формы двигательной активности являются эффективным инструментом управления процессом адаптации студентов с ограниченными возможностями здоровья к условиям инклюзивного образования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лалаева Г. С., Захарова А. Н., Кабачкова А. В., Миронов А. А., Капилевич Л. В. Психофизиологические особенности спортсменов циклических и силовых видов спорта // Теория и практика физической культуры. – 2015. – № 11. – С. 73–75. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24842311>
2. Макашова Н. В. Сравнительный анализ гемодинамических параметров в оценке состояния глаукомного процесса у пациентов с миопией // Вестник офтальмологии. – 2004. – № 2. – С. 25–29. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23496718>
3. Дорошева Е. А. Эволюционный подход к вопросам формирования близорукости: перестройка зрительного анализатора как адаптация к социокультурным условиям // Экспериментальная психология. – 2014. – Т. 7, № 3. – С. 83–96. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22593082>
4. Hysi P. G., Wojciechowski R., Rahi S. J., Hammond C. J. Genome-wide association studies of refractive error and myopia, lessons learned, and implication for the future // Investigation Ophthalmological and Visual Science. – 2014. – Vol. 55, № 5. – P. 3344–3351. DOI: <https://doi.org/10.1167/iovs.14-14149>

¹⁶ Dolce G. Spectral and multivariate analysis of EEG changes during mental activity in man // EEG and

Clinic. Neurophysiology. – 1974. – Vol. 36. – P. 577–560.



5. **Gwiazda J., Deng L.** Seasonal variations in the progression of myopia in children enrolled in the correction of myopia evaluation trial // *Investigative Ophthalmology and Visual Science*. – 2014. – Vol. 55, Issue 2. – P. 752–758. DOI: <https://doi.org/10.1167/iovs.13-13029>
6. **Modjtahedi B., Ferris F., Hunter D., Fong D.** Public Health Burden and Potential Interventions for Myopia // *Ophthalmology*. – 2018. – Vol. 125, Issue 5. – P. 628–630. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2018.01.033>
7. **Grudzińska E, Modrzejewska M.** Modern Diagnostic Techniques for the Assessment of Ocular Blood Flow in Myopia: Current State of Knowledge // *Journal of Ophthalmology*. – 2018. – Vol. 2018. – Article ID 4694789. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/4694789>
8. **Чередниченко Н. Л.** Влияние физической нагрузки на состояние аккомодации, рефрактогенеза и регуляцию вегетативной нервной системы у детей и подростков // *Медицинский вестник Северного Кавказа*. – 2016. – Т. 11, № 3. – С. 468–470. DOI: <https://doi.org/10.14300/mnnc.2016.11107>
9. **Апрелев А. Е., Сетко Н. П., Караулова Е. С., Пашинина Р. В., Бейлина Е. Б., Лозинский А. С.** Зависимость объема аккомодации от преобладания вида вегетативного тонуса центральной нервной системы у студентов с миопией различной степени // *Медицинский вестник Башкортостана*. – 2015. – Т. 10, № 2. – С. 88–91. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23758223>
10. **Chakraborty R., Ostrin L. A., Nickla D., Iuvone P. M., Pardue M. T., Stone R. A.** Circadian rhythms, refractive development, and myopia // *Ophthalmic & Physiological Optics*. – 2018. – Vol. 38, Issue 3. – P. 217–245. DOI: <https://doi.org/10.1111/opo.12453>
11. **Neupokoev S. N., Bredikhina J. P., Guseva N. L.** Influence of muscle tension type on bioelectrical activity and regional blood flow in lower limbs of skilled // *Theory and Practice of Physical Culture*. – 2017. – № 8. – P. 25. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30621276>
12. **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. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14345145>
13. **Red'ka O. V., Mayorov Yu.** Spectral Characteristics of the Ongoing Electroencephalogram in Children Suffering from Visual Dysfunctions // *Neurophysiology*. – 2014. – Vol. 46, Issue 2. – P. 149–159. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11062-014-9421-x>
14. **Schepers I. M., Hipp J. F., Schneider T. R., Röder B., Engel A. K.** Functionally specific oscillatory activity correlates between visual and auditory cortex in the blind // *Brain*. – 2012. – Vol. 135, Issue 3. – P. 922–934. DOI: <https://doi.org/10.1093/brain/aws014>
15. **Tilley S., Neale Ch., Patuano A., Cinderby S.** Older People's Experiences of Mobility and Mood in an Urban Environment: A Mixed Methods Approach Using Electroencephalography (EEG) and Interviews // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2017. – Vol. 14, Issue 2. – P. 151. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph14020151>
16. **Parka J. L., Fairweatherb M. M., Donaldson D. I.** Making the case for mobile cognition: EEG and sports performance // *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. – 2015. – Vol. 52. – P. 117–130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.02.014>
17. **Gong A., Liu J., Li F., Liu F., Jiang C., Fu Y.** Correlation Between Resting-state Electroencephalographic Characteristics and Shooting Performance // *Neuroscience*. – 2017. – Vol. 366. – P. 172–183. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2017.10.016>
18. **Gawlik K., Zwierzchowska A., Manowska B., Celebańska D.** Aerobic capacity of adults with intellectual disabilities // *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*. – 2017. – Vol. 24 (1). – P. 117–120. DOI: <https://doi.org/10.5604/12321966.1233999>



19. **Klusiewicz A., Borkowski L., Sitkowski D., Burkhard-Jagodzińska K., Szczepańska B., Ladyga M.** Indirect Methods of Assessing Maximal Oxygen Uptake in Rowers: Practical Implications for Evaluating Physical Fitness in a Training Cycle // *Journal of Human Kinetics*. – 2016. – Vol. 50, Issue 1. – P. 187–194. DOI: <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0155>
20. **Woost L., Bazin P.-L., Taubert M., Trampel R., Tardif C. L., Garthe A., Kempermann G., Renner U., Stalla G., Ott D. V. M., Rjosk V., Obrig H., Villringer A., Roggenhofer E., Klein T. A.** Physical Exercise and Spatial Training: A Longitudinal Study of Effects on Cognition, Growth Factors, and Hippocampal Plasticity // *Scientific reports*. – 2018. – Vol. 8. – Article number: 4239. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19993-9>
21. **Rahe J., Becker J.** Cognitive training with and without additional physical activity in healthy older adults: cognitive effects, neurobiological mechanisms, and prediction of training success // *Frontiers in Aging Neuroscience*. – 2015. – Vol. 7. – P. 187 DOI: <https://doi.org/10.3389/fnagi.2015.00187>
22. **Czaprowski D., Kotwicki T., Biernat R.** Physical capacity of girls with mild and moderate idiopathic scoliosis: influence of the size, length and number of curvatures // *European Spine Journal*. – 2012. – Vol. 135, Issue 3. – P. 922–934. DOI: <https://doi.org/10.1093/brain/aws014>
23. **Bland J., Pfeiffer K., Eisenmann J.** The PWC170: comparison of different stage lengths in 11-16 year olds // *European Journal of Applied Physiology*. – 2012. – Vol. 21, Issue 6. – P. 1099–1105. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00586-011-2068-z>



DOI: [10.15293/2226-3365.1805.15](https://doi.org/10.15293/2226-3365.1805.15)

- Ksenya Valentinovna Davletyarova,
Candidate of Medical Sciences, Associate Professor,
Department of Physical Education,
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0713-5202>
E-mail: ksenya-d82@yandex.ru
- Elena Vladimirovna Medvedeva,
Post-Graduate Student,
Department of Physical Education,
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7263-8949>
E-mail: medvelvl@gmail.com
- Natalia Andreevna Ovchinnikova,
Graduate Student,
Department of Sport and Wellness Outdoor Tourism, and Sports Physiology and
Medicine,
National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1743-9189>
E-mail: ona06_1995@mail.ru
- Galina Sergeevna Ezhova,
Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Department of Sport and Wellness Outdoor Tourism, and Sports Physiology and
Medicine,
National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2486-9686>
E-mail: galinalalaeva@mail.ru
- Leonid Vladimirovich Kapilevich,
Doctor of Medical Sciences, Professor,
Department of Physical Education,
National Research Tomsk Polytechnic University;
Department of Sport and Wellness Outdoor Tourism, and Sports Physiology and
Medicine,
National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2316-576X>
E-mail: kapil@yandex.ru

Characteristics of brain bioelectric activity in disabled students: Combining cognitive and physical loads

Abstract

Introduction. *The article investigates mechanisms of physiological motor regulation and interaction of motor and cognitive activities in disabled people. The purpose of this study is to identify the characteristic features of brain bioelectric activity in students with visual or locomotor system disorders during cognitive and physical loads.*



Materials and Methods. The participants were students with special education needs, as well as healthy students aged between 18 and 20. They were divided into three groups. The first group consisted of students with locomotor system disorders (type 3 and 4 scoliosis); the second group consisted of students with visual disorders (high degree myopia); the third group (control) was represented by students attending physical education classes twice a week in the main group of health. The studies were carried out in two stages: the first stage (before physical activity) involved conducting a cognitive test followed by EEG recording. The second stage consisted of PWC170 test, followed by a cognitive test. Finally, bioelectric brain activity was examined by means of EEG method.

Results. The results show that physical activity has a modulating effect on the cognitive sphere (in particular, on the function of attention and short-term memory) and on bioelectrical brain activity. The study indicated more significant effect on students with visual or locomotor system disorders than on healthy volunteers. In addition, the authors found that the nature, level and periodicity of physical activities, along with the formation of motor stereotypes, contribute to students' adaptation to educational activity. The authors analyzed the interrelation of psychophysiological characteristics, the effectiveness of cognitive activity and motor activity in students with disabilities and established approaches to managing the adaptation of students with special needs to conditions of inclusion by means of motor activity.

Conclusions. The mutual influence of physical and cognitive activities is realized by means of developing specific activity patterns of the cerebral cortex, which is reflected in the peculiarities of bioelectrical activity.

Keywords

Physiology; Nervous system; Electroencephalography; Myopia; Scoliosis; Adaptation.

Acknowledgments

This research was supported by Russian Science Foundation (No. 16-18-00016).

REFERENCES

1. Lalaeva G. S., Zakharova A. N., Kabachkova A. V., Mironov A. A., Kapilevich L. V. Psychophysiological features of cyclic and endurance athletes. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2015, no. 11, pp. 73–75. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24842311>
2. Makashova N. In. Comparative analysis of hemodynamic parameters in the assessment of the glaucoma process in patients with myopia. *Bulletin of Ophthalmology*, 2004, no. 2, pp. 25–29. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21061804>
3. Dorosheva E. A. Evolutionary approach to the formation of myopia: the restructuring of the visual analyzer as an adaptation to the social and cultural conditions. *Experimental Psychology*, 2014, vol. 7, no. 3, pp. 83–96. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22593082>
4. Hysi P. G., Wojciechowski R., Rahi S. J., Hammond C. J. Genome-wide association studies of refractive error and myopia, lessons learned, and implication for the future. *Investigation Ophthalmological and Visual Science*, 2014, vol. 55, no. 5, pp. 3344–3351. DOI: <https://doi.org/10.1167/iovs.14-14149>
5. Gwiazda J., Deng L. Seasonal variations in the progression of myopia in children enrolled in the correction of myopia evaluation trial. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 2014, vol. 55, issue 2, pp. 752–758. DOI: <https://doi.org/10.1167/iovs.13-13029>
6. Modjtahedi B., Ferris F., Hunter D., Fong D. Public health burden and potential interventions for myopia. *Ophthalmology*, 2018, vol. 125, issue 5, pp. 628–630. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2018.01.033>



7. Grudzińska E., Modrzejewska M. Modern diagnostic techniques for the assessment of ocular blood flow in myopia: Current state of knowledge. *Journal of Ophthalmology*, 2018, vol. 2018, article ID 4694789. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/4694789>
8. Cherednichenko N. L. The influence of physical activity on state of accommodation, refraktogenesis and regulation of the vegetative nervous system in children and adolescents. *Medical News of North Caucasus*, 2016, vol. 11, no. 3, pp. 468–470. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.14300/mnnc.2016.11107>
9. Aprelev A. E., Setko N. P., Karaulova E. S., Pashinina R. V., Beilina E. B., Lozinskii A. S. Dependence of range of accommodation on the prevalence of CNS vegetal tone type at students with varying degree of myopia. *Medical Journal of Bashkortostan*, 2015, vol. 10, no. 2, pp. 88–91. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23758223>
10. Chakraborty R., Ostrin L. A., Nickla D., Iuvone P. M., Pardue M. T., Stone R. A. Circadian rhythms, refractive development, and myopia. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 2018, vol. 38, issue 3, pp. 217–245. DOI: <https://doi.org/10.1111/opo.12453>
11. Neupokoev S. N., Bredikhina J. P., Guseva N. L. Influence of muscle tension type on bioelectrical activity and regional blood flow in lower limbs of skilled. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2017, no. 8, p. 25. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30621276>
12. Popova T. V. Variability of bioelectric activity of the brain in different states of athletes. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2006, no. 8, pp. 20–22. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14345145>
13. Red'ka O. V., Mayorov Yu. Spectral characteristics of the ongoing electroencephalogram in children suffering from visual dysfunctions. *Neurophysiology*, 2014, vol. 46, issue 2, pp. 149–159. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11062-014-9421-x>
14. Schepers I. M., Hipp J. F., Schneider T. R., Röder B., Engel A. K. Functionally specific oscillatory activity correlates between visual and auditory cortex in the blind. *Brain*, 2012, vol. 135, issue 3, pp. 922–934. DOI: <https://doi.org/10.1093/brain/aws014>
15. Tilley S., Neale Ch., Patuano A., Cinderby S. Older people's experiences of mobility and mood in an urban environment: A mixed methods approach using electroencephalography (EEG) and interviews. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2017, vol. 14, issue 2, p. 151. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph14020151>
16. Parka J. L., Fairweatherb M. M., Donaldson D. I. Making the case for mobile cognition: EEG and sports performance. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2015, vol. 52, pp. 117–130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.02.014>
17. Gong A., Liu J., Li F., Liu F., Jiang C., Fu Y. Correlation between resting-state electroencephalographic characteristics and shooting performance. *Neuroscience*, 2017, vol. 366, pp. 172–183. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2017.10.016>
18. Gawlik K., Zwierzchowska A., Manowska B., Celebańska D. Aerobic capacity of adults with intellectual disabilities. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 2017, vol. 24 (1), pp. 117–120. DOI: <https://doi.org/10.5604/12321966.1233999>
19. Klusiewicz A., Borkowski L., Sitkowski D., Burkhard-Jagodzińska K., Szczepańska B., Ładyga M. Indirect methods of assessing maximal oxygen uptake in rowers: Practical implications for evaluating physical fitness in a training cycle. *Journal of Human Kinetics*, 2016, vol. 50, issue 1, pp. 187–194. DOI: <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0155>
20. Woost L., Bazin P.-L., Taubert M., Trampel R., Tardif C. L., Garthe A., Kempermann G., Renner U., Stalla G., Ott D. V. M., Rjosk V., Obrig H., Villringer A., Roggenhofer E., Klein T. A. Physical exercise and spatial training: A longitudinal study of effects on cognition, growth factors, and



- hippocampal plasticity. *Scientific Reports*, 2018, vol. 8, article number: 4239. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19993-9>
21. Rahe J., Becker J. Cognitive training with and without additional physical activity in healthy older adults: cognitive effects, neurobiological mechanisms, and prediction of training success. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 2015, vol. 7, p. 187. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnagi.2015.00187>
 22. Czaprowski D., Kotwicki T., Biernat R. Physical capacity of girls with mild and moderate idiopathic scoliosis: influence of the size, length and number of curvatures. *European Spine Journal*, 2012, vol. 135, issue 3, pp. 922–934. DOI: <https://doi.org/10.1093/brain/aws014>
 23. Bland J., Pfeiffer K., Eisenmann J. The PWC170: comparison of different stage lengths in 11-16 year olds. *European Journal of Applied Physiology*, 2012, vol. 21, issue 6, pp. 1099–1105. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00586-011-2068-z>

Submitted: 08 August 2018 Accepted: 10 September 2018 Published: 31 October 2018



This is an open access article distributed under the [Creative Commons Attribution License](#) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. (CC BY 4.0).