

УДК 612.65:37.037.1

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА КОГНИТИВНЫЕ ФУНКЦИИ И БИОЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ГОЛОВНОГО МОЗГА У СПОРТСМЕНОВ РАЗЛИЧНЫХ СПЕЦИАЛИЗАЦИЙ

© 2023 г. Н. А. Овчинникова³, Е. В. Медведева¹, Г. С. Ежова¹,
С. Г. Кривошеков², Л. В. Капилевич^{1,3,*}

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

²ФГБНУ «Научно-исследовательский институт нейронаук и медицины», Новосибирск, Россия

³Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

*E-mail: kapil@yandex.ru

Поступила в редакцию 17.11.2022 г.

После доработки 29.04.2023 г.

Принята к публикации 10.05.2023 г.

Методами психофизиологического тестирования и электроэнцефалографии (ЭЭГ) было изучено влияние физических нагрузок на когнитивные функции (в частности, в тесте способности к принятию решений) и биоэлектрическую активность головного мозга (в частности, мощность амплитуды ЭЭГ в β - и Δ -диапазоне) у спортсменов различных специализаций. Показано, что при выполнении психологических тестов до нагрузки спортсмены, занимающиеся циклическими видами нагрузки, демонстрируют результаты лучше, чем тяжелоатлеты – у них выше скорость научения, выше процент правильных ответов, меньше время отклика и большая скорость переключения внимания. Результаты психологических тестов до нагрузки у контрольной группы были ниже, чем у легкоатлетов, но выше, чем у тяжелоатлетов. Предъявляемая однократно физическая нагрузка циклического характера не оказывала влияния на результаты теста *Iowa Gambling Task (IGT)* у нетренированных волонтеров и у тяжелоатлетов, но способствовала улучшению результатов тестирования у спортсменов, тренирующихся в циклических видах спорта – увеличивались скорость научения и процент правильных ответов. При выполнении когнитивной пробы у спортсменов отмечается усиление мощности спектров Δ (α у тяжелоатлетов – и θ)-диапазона в большей степени, чем в контроле. В отличие от контрольной группы, физическая нагрузка у спортсменов чаще способствует снижению мощности спектров ЭЭГ, особенно в β - и Δ -диапазонах. Выявленные различия в результатах психофизиологических тестов у спортсменов различных специализаций и нетренированных волонтеров в значительной степени определяются особенностями функциональной активности различных отделов коры, что находит свое отражение в характеристиках паттернов биоэлектрической активности мозга.

Ключевые слова: спортивные тренировки, когнитивные способности, электроэнцефалография.

DOI: 10.31857/S0131164622600938, **EDN:** XOQKAJ

Взаимосвязь когнитивных функций с физической активностью представляет собой актуальную проблему, имеющую значение для различных областей – спортивная деятельность, экстремальные профессии, лица с ограниченными возможностями здоровья, возрастные изменения когнитивной сферы. В литературе описаны как положительные, так и отрицательные эффекты физических нагрузок на когнитивную деятельность [1, 2], в том числе и при ухудшении психического состояния [3].

Для изучения физиологических механизмов регуляции двигательной активности у спортсменов широко используются показатели, характе-

ризующие функциональное состояние центральной нервной системы (ЦНС) [4–6].

Оптимальное функциональное состояние центральных регуляторных механизмов является необходимым условием эффективной деятельности в экстремальных условиях, к которым относится спорт высших достижений [7]. На воздействие экстремальных физических и психических факторов в организме могут формироваться неспецифические физиологические реакции, которые способствуют повышению умственной [8, 9] и физической работоспособности [10].

Выполнение физических упражнений связано с поступлением в ЦНС сигналов о состоянии

мышц, степени их сокращения или расслабления, положении тела и его частей в пространстве, поддержании позы. При систематическом их выполнении изменяется функциональное состояние коры больших полушарий и подкорковых центров, происходит активизация процессов возбуждения и торможения, увеличивается сила и подвижность нервных процессов [11, 12], формируются новые внутри- и межсистемные связи [13, 14]. Развитие сложных двигательных навыков в процессе спортивного совершенствования связано с формированием достаточно сложных функциональных систем, включающих различные звенья, количество и степень вовлеченности которых зависит от типа осуществляемой деятельности [15–17].

Компонентами психофизиологических перестроек, происходящих в процессе спортивной деятельности, являются психомоторные, когнитивные и психофизиологические функции [18–20]. По всей видимости, уровень и преобладающий характер двигательной активности будут в значительной степени определять механизмы физиологической адаптации, что должно найти отражение в особенностях психофизиологических и когнитивных параметров и в соответствующих коррелятах биоэлектрической активности головного мозга [21, 22].

Цель исследования – изучить влияние однократной физической нагрузки на когнитивные функции и биоэлектрическую активность головного мозга у спортсменов различных специализаций.

МЕТОДИКА

В исследовании принимали участие спортсмены, тренирующиеся в различных видах спорта, а также здоровые волонтеры, не занимающиеся спортом. Все обследуемые – 80 мужчин в возрасте 18–20 лет. Критериями исключения были: наличие в анамнезе черепно-мозговых травм и заболеваний нервной системы, любые острые заболевания в течение последних 30 дней, употребление алкоголя в течение 5 дней перед экспериментом.

Контрольная группа состояла из волонтеров, не занимавшихся спортом и посещавших занятия по физической культуре два раза в неделю в основной группе здоровья ($n = 20$). В первую экспериментальную группу (группа Легкая атлетика – ЛА) входили спортсмены уровня I взрослый разряд – кандидат в мастера спорта, тренирующиеся в циклических видах спорта (бег, лыжные гонки) – $n = 30$. Вторая экспериментальная группа (группа Тяжелая атлетика – ТА) включала спортсменов уровня I взрослый разряд – кандидат в мастера спорта, тренирующиеся в силовых видах спорта (тяжелая атлетика) – $n = 30$.

Психофизиологическое тестирование для оценки когнитивной сферы. Было сформировано два блока из экспериментальных и контрольной групп, дизайн этой части исследования представлен на рис. 1. Исследование проводили в два этапа в разные дни (с интервалом 3–5 дней). Участники блока А в первый день выполняли физическую нагрузку – тест *PWC170*, сразу после которого выполняли когнитивный тест *IGT* (*Iowa Gambling Task*, он же Айова-тест). Во второй день участники этого блока выполняли пять психофизиологических тестов, описанных ниже (включая тест *IGT*), после каждого теста предоставляли 15 мин отдыха.

Участники блока Б в первый день выполняли пять психофизиологических тестов, описанных ниже (включая тест *IGT*). Во второй день участники этого блока выполняли физическую нагрузку – тест *PWC170*, сразу после которого выполняли *IGT*-тест.

В качестве физической нагрузки выполняли тест *PWC170* (*Physical Working Capacity*, физическая работоспособность) [23]. Предлагали 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 частоты сердечных сокращений (ЧСС), вызванной первой нагрузкой. Частота педалирования – 60–70 об./мин. В конце пятой минуты каждой нагрузки (за последние 30 с) регистрировали ЧСС.

Тест Iowa Gambling Task. IGT по азартным играм оценивает процесс принятия решений с использованием карт [24]. Испытуемый должен выбрать одну из четырех колод карт (названных *A*, *B*, *C* и *D*). Он может выиграть или проиграть условные деньги (условные доллары) с каждой картой. Колоды *A* и *B* всегда приносили \$100; колоды *C* и *D* всегда приносили \$50. Для каждой выбранной карты также существует 50% вероятность того, что придется заплатить штраф. Для колод *A* и *B* штраф составляет 250 долларов, а для колод *C* и *D* – 50 долларов. Следует отметить, что, так как игра ведется на условные (игровые), а не реальные деньги, то эмоции, испытываемые игроками, не очень сильные.

Испытуемому предлагается следующая инструкция: “В этом задании вы играете в азартную игру. Вам нужно выбрать одну из 4 кнопок (*A*, *B*, *C*, *D*) с помощью мыши. Каждый раз вы можете выиграть немного денег, но иногда вам также придется платить комиссию банку. После каждого испытания вы можете получить деньги, которые будут накапливаться на вашем счету. Вы начинаете с кредита в \$2000. Есть 100 испытаний (занимает около 5 мин). Продолжайте до тех пор,

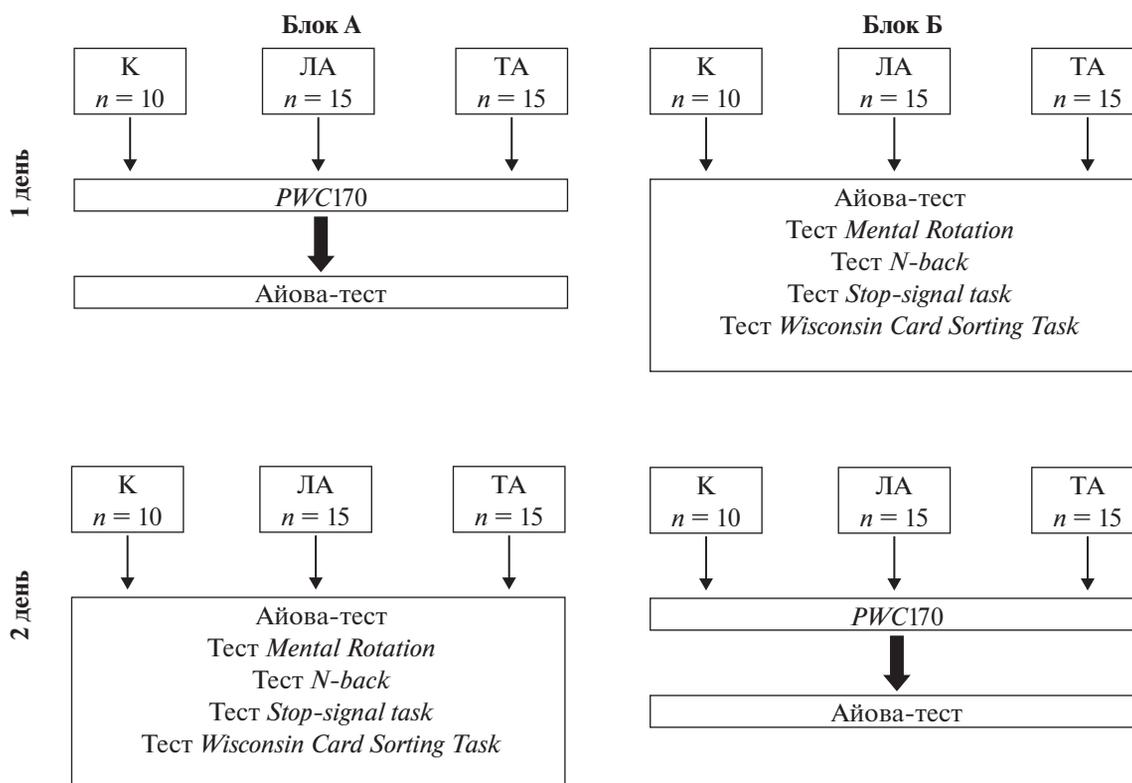


Рис. 1. Дизайн построения психофизиологических исследований до и после физической нагрузки.

К – контрольная группа, ЛА – группа Легкая атлетика (циклические виды спорта), ТА – группа Тяжелая атлетика (силовые виды спорта).

пока время не закончится, и посмотрите, сколько вы смогли заработать свыше кредита в \$2000 [24]”. По итогам выполнения теста оценивается процент правильно сделанных выборов (выбор колод C и D) и скорость научения – % от общего времени, через которое испытуемый достоверно чаще начинал выбирать колоды C и D. Считается, что тест оценивает функцию вентромедиальной префронтальной коры. Эта часть мозга, помимо прочего, участвует в обработке риска, страха, эмоций и принятия решений [25, 26]. Выполнение теста занимает 30 мин.

Тест Mental Rotation. Данный тест позволяет оценить способности мысленного вращения двухмерных и трехмерных объектов [27]. Суть метода заключается в том, чтобы “в уме” развернуть изображение так, чтобы одна из двух предложенных фигур соответствовала представленной. В задании на экране появлялись 3 фигуры. Необходимо было сопоставить две фигуры с третьей (образцом) и выбрать верный ответ, по мнению испытуемого. Оценивались процент правильных ответов и среднее время на принятие решения (время отклика). Тест позволяет оценить способность к пространственному мышлению. Тест состоял из 24 заданий, после каждого задания предоставля-

лось 10 с на отдых, общее время выполнения теста не превышало 5 мин.

Тест N-Back. Данный тест направлен на оценку концентрации и кратковременной памяти [28]. Суть метода заключается в непрерывном запоминании последовательности символов – звуковых и зрительных. Необходимо отмечать соответствие текущего символа символу, представленному n -шагов назад. Отсюда и название – n -back.

В задании испытуемым предлагали запомнить последовательность букв. Каждая буква отображалась в течение нескольких секунд. Испытуемым нужно было вспомнить, видели ли они ту же букву 3 пункта назад. Если испытуемый видел ту же букву 3 пункта назад, то нужно нажать кнопку M на клавиатуре (*Memory*). Если это не было буквой, показанной 3 пункта назад, то необходимо нажать кнопку N (*No*). Оценивались процент правильных ответов и среднее время на принятие решения (время отклика). Предъявляется 20 попыток, 3 с на каждую попытку, общее время выполнения теста – 1 мин.

Тест Stop-signal task. Данный тест направлен на измерение торможения реакции (импульсное торможение) [29]. Участник должен ответить на стимул стрелки, выбрав один из двух вариантов, в зависимости от направления, в котором указы-

вает стрелка. Если присутствует звуковой тон, субъект должен воздержаться от этой реакции (торможение). Тест состоит из двух частей:

1. в первой части участника знакомят с тестом и просят выбрать левую кнопку, когда он увидит стрелку, указывающую влево, и кнопку справа, когда он увидит стрелку, указывающую вправо. У участника есть один блок из 16 испытаний, чтобы попрактиковаться в этом.

2. во второй части участнику предлагается продолжить выбор кнопок, когда он увидит стрелки, но, если он услышит световой сигнал (красный круг), он должен воздержаться от ответа и не нажимать кнопку.

Оценку времени нельзя измерить напрямую, потому что по определению не происходит никакого измеримого поведения, когда участник успешно предотвращает нажатие кнопки. Оценивались доля (вероятность) успешной остановки и время отклика. Всего предьявляется 30 попыток, время выполнение теста – 1 мин.

Тест Wisconsin Card Sorting Task. Нейропсихологический тест, позволяющий оценить способность к переключению внимания при изменении категории, т.е. способность демонстрировать гибкость в зависимости от меняющихся текущих условий [30]. Данный тест оценивает развитие исполнительных функций, т.е. когнитивных способностей, необходимых для программирования и контроля действий. Висконсинский тест сортировки карточек оценивает следующие когнитивные функции:

1. способность к выделению абстрактных категорий (*forming abstract concepts*);
2. способность к переключению внимания при изменении категории (*shifting set*);
3. способность к концентрации внимания на выделенной категории (*maintaining set*);
4. способность к использованию обратной связи (*feedback utilization*).

Необходимо сортировать карточки из набора (например, один красный треугольник, две желтые звезды, три зеленых креста, четыре синих треугольника) в соответствии с правилом, известным только компьютеру. Тестируемый должен понять принцип сортировки на основе обратной связи, получаемой от компьютера (правильно-неправильно). После 10 правильных ответов подряд принцип сортировки (цвет, форма, количество) меняется, о чем тестируемому сообщается только посредством указания на неправильный ответ без каких-либо дополнений и комментариев. Тестирование прекращается при выполнении сортировки по 6 категориям (цвет, форма, количество, цвет, форма, количество) или до расходования всех карточек. Оценивается процент пра-

вильных ответов и количество ошибок. Выполнение теста занимает 15–20 мин.

Регистрацию электроэнцефалограммы выполняли на программно-аппаратном комплексе “Нейрон-спектр 4/П” (Нейрософт, Россия) в системе отведений “10–20” по 8 каналам (лобные (FP_{1-2}), область центральной борозды (C_{3-4}), височные (T_{3-4}), затылочные (O_{1-2}) электроды). Наложение электродов осуществляли с помощью специальной шапочки для проведения ЭЭГ (монтаж монополярный, референтные электроды – ушные (A)). Оценивали среднюю мощность частотных спектров для α (8–13 Гц), высоко (25–40 Гц) и низкочастотных β (13–25 Гц)-, θ (4–8 Гц)- и Δ (0.5 до 3.5 Гц)-диапазонов. Стандартные границы частотных диапазонов были выбраны, чтобы в дальнейшем иметь возможность экстраполировать полученные результаты на аналогичные группы и иметь возможность в последующих исследованиях сформулировать практические рекомендации для использования ЭЭГ-контроля в спортивном отборе и тренировочном процессе в видах спорта, сочетающих физические и когнитивные нагрузки. Регистрацию ЭЭГ выполняли в полосе пропускания 0.3–50 Гц и при частоте дискретизации 500 Гц. Каждую запись ЭЭГ автоматически сканировали на наличие артефактов. Участки ЭЭГ с амплитудой более 200 мкВ в пределах окна в 640 мс отмечали, как плохой канал; участки с амплитудой более 140 мкВ рассматривали как двигательный артефакт.

Для спектрального анализа использовали 20-секундные отрезки безартефактной записи, подразделявшиеся на четырехсекундные эпохи, подвергавшиеся быстрому преобразованию Фурье с использованием окна Ханна.

Регистрацию ЭЭГ проводили в три этапа. Дизайн данной части исследования представлен на рис. 2. На первом этапе у испытуемого регистрировали ЭЭГ в состоянии покоя с закрытыми (фонная запись) и с открытыми глазами в течение 20 с.

На втором этапе испытуемому предлагали выполнить *IGT*-тест [2] на компьютере (структура и порядок выполнения теста были описаны выше), ЭЭГ регистрировали во время выполнения теста (на всем протяжении его выполнения). Для анализа выбирали участки записи без артефактов продолжительностью 20 с.

После этого обследуемый выполнял физическую нагрузку в виде теста *PWC170* по схеме, описанной выше. На третьем этапе, сразу после выполнения нагрузки, испытуемые повторно выполняли *IGT*-тест, во время которого регистрировалась ЭЭГ.

Методы математической статистики. Статистическую обработку данных проводили с ис-

пользованием пакета статистического анализа *STATISTICA 8.0*.

Для несвязанных выборок проводили двухфакторный дисперсионный анализ (*ANOVA*), чтобы определить, связаны ли результаты выполнения заданий наличием спортивного разряда и с видом спорта, которым занимается испытуемый. Этим методом анализировали результаты выполнения тестов в группах спортсменов и нетренированных волонтеров. В этом случае дисперсионный анализ проводили по следующим факторам: наличие/отсутствие спортивной квалификации, вид спорта (легкая атлетика/тяжелая атлетика). Анализ данных *ANOVA* был проведен с использованием многомерного дисперсионного анализа (*MANOVA*). Статистически значимые взаимодействия отслеживали с помощью теста Тьюки на достоверно значимые различия (относительная значимость 0.05). Оценку сферичности выполняли с помощью теста Мочли.

Для результатов в попарно связанных выборках (на данных азартных игр в Айова-тесте до и после выполнения физической нагрузки) были проведены два *t*-теста, по одному для каждой зависимой переменной для задачи, чтобы определить, оказали ли упражнения какое-либо влияние на выполнение задачи. В том случае, когда достоверность эффекта подтверждалась, для оценки его величины (*effect size*) определяли стандартизованную среднюю разницу по формуле *d* Коэна (при $d = 2$).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В табл. 1 представлены показатели психологического тестирования контрольной группы и спортсменов различных специализаций.

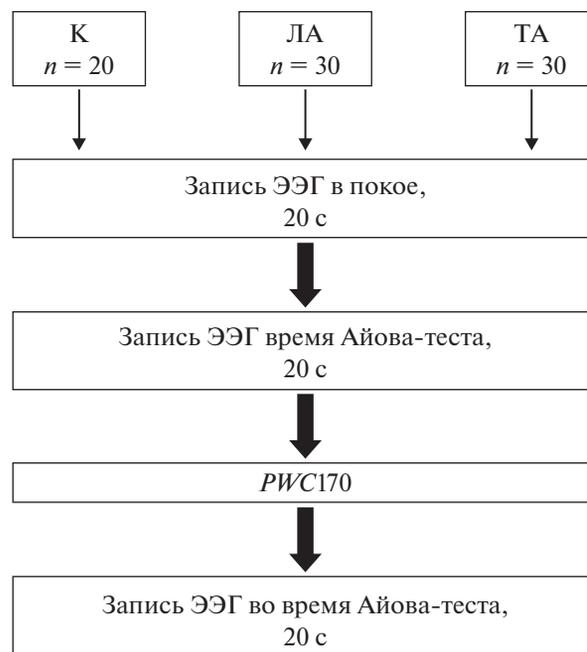


Рис. 2. Дизайн построения электроэнцефалографического исследования до и после физической нагрузки. Обозначения см. рис. 1.

В тесте *Iowa Gambling Task (IGT)* в группе ЛА процент правильных ответов был выше, чем в группах ТА и в контроле. Испытуемые группы ЛА с большей вероятностью принимали решение, которое, в конечном итоге, приносило им деньги. Скорость научения так же была выше в группе ЛА, а в группе ТА она была минимальной. Участники группы ЛА быстрее начинали преимущественно выбирать колоды *C* или *D*. Считается, что

Таблица 1. Показатели психологического тестирования спортсменов различных специализаций

№	Название теста	Контрольная группа	Группа Легкая атлетика	Группа Тяжелая атлетика
1	<i>Iowa Gambling Task</i> , скорость научения, %	25.2 ± 7.5	14.1 ± 3.6 [@]	46.9 ± 8.4*. [@]
2	<i>Iowa Gambling Task</i> , % правильных ответов	55.7 ± 2.2	69.8 ± 2.5 [@]	42.4 ± 6.2*. [@]
3	<i>Mental Rotation</i> , % правильных ответов	76.6 ± 3.4	86.2 ± 2.9 [@]	67.5 ± 4.1*. [@]
4	<i>Mental Rotation</i> , среднее время отклика, мс	2298 ± 65	2487 ± 73 [@]	2136 ± 68*. [@]
5	<i>N-back</i> , % правильных ответов	81.3 ± 2.4	84.5 ± 2.4 [@]	79.5 ± 2.5*. [@]
6	<i>N-back</i> , среднее время отклика, мс	648 ± 3	656 ± 3 [@]	626 ± 3*. [@]
7	<i>Stop-signal task</i> , вероятность успешной остановки	0.77 ± 0.03	0.78 ± 0.03	0.80 ± 0.03
8	<i>Stop-signal task</i> , время отклика, мс	152.5 ± 2.7	165.3 ± 2.3 [@]	145.2 ± 2.1*. [@]
9	<i>Wisconsin Card Sorting Task</i> , % правильных ответов	74.3 ± 1.6	78.9 ± 1.7 [@]	70.9 ± 2.5*. [@]
10	<i>Wisconsin Card Sorting Task</i> , количество ошибок	10.2 ± 0.5	9.1 ± 0.4 [@]	11.6 ± 0.5*. [@]

Примечание: * – достоверность различий между легкоатлетами и тяжелоатлетами, $p < 0.05$. [@] – достоверность различий с контрольной группой, $p < 0.05$.

Таблица 2. Показатели психологического тестирования спортсменов различных специализаций до и после физической нагрузки

Название теста	Контрольная группа		Группа Легкая атлетика		Группа Тяжелая атлетика	
	блок А	блок Б	блок А	блок Б	блок А	блок Б
<i>Iowa Gambling Task</i> (до нагрузки), скорость научения, %	25.0 ± 3.2	24.8 ± 5.7	14.6 ± 3.1 [@]	15.8 ± 2.0 [@]	46.9 ± 5.2* ^{*,@}	47.3 ± 6.6* ^{*,@}
<i>Iowa Gambling Task</i> (после нагрузки), скорость научения, %	27.4 ± 8.1	29.5 ± 6.3	11.2 ± 1.9 ^{#, @}	11.4 ± 3.2* ^{*,@, #}	57.7 ± 6.4* ^{*,@, #}	53.2 ± 8.1* ^{*,@}
<i>Iowa Gambling Task</i> (до нагрузки), % правильных ответов	52.6 ± 2.1	54.7 ± 3.3	69.7 ± 2.5 [@]	71.8 ± 3.1 [@]	42.5 ± 6.2* ^{*,@}	43.7 ± 4.3* ^{*,@}
<i>Iowa Gambling Task</i> (после нагрузки), % правильных ответов	55.0 ± 4.4	58.7 ± 5.1	76.3 ± 4.2 ^{#, @}	82.5 ± 4.1 ^{#, @, \$}	40.9 ± 4.7* ^{*,@}	41.3 ± 2.5* ^{*,@}

Примечание: * – достоверность различий между легкоатлетами и тяжелоатлетами, $p < 0.05$ на одном и том же этапе исследования, # – достоверность различий между спортсменами до и после физической нагрузки, $p < 0.05$, @ – достоверность различий с контрольной группой, $p < 0.05$, \$ – достоверность различий между блоками А и Б, $p < 0.05$.

тест оценивает функцию вентромедиальной префронтальной коры. Эта часть мозга, помимо прочего, участвует в обработке риска, страха, эмоций и принятия решений [25, 26].

В тесте *Mental Rotation* процент правильных ответов был выше у группы ЛА, что указывает на лучшую способность к пространственному мышлению. Так же и среднее время отклика в группе ЛА больше, чем в группах ТА и в контроле.

В тесте *N-back* процент правильных ответов был выше у группы ЛА, что указывает на лучшие показатели кратковременной памяти. Так же и среднее время отклика в группе ЛА выше, чем в группах ТА и в контроле.

В тесте *Stop-signal task* не выявлено достоверных различий в показателе вероятности успешной остановки между группами. Но при оценке времени, необходимого для предотвращения нажатия кнопки, участники группы ЛА показали более высокий результат, чем участники групп ТА и контрольной. У спортсменов группы ЛА наблюдается большая лабильность нервной системы и скорость переключения.

В тесте *Wisconsin Card Sorting Task* в группе ЛА процент правильных ответов был выше, чем у участников групп ТА и контрольной, что указывает на лучшую способность следовать набору меняющихся правил. Количество perseverационных ошибок в группе ТА было самым высоким, что указывает на тенденцию продолжать следовать набору правил после того, как этот набор больше не работает.

В табл. 2 представлены показатели психологического тестирования *Iowa Gambling Task* спортс-

менов различных специализаций и контрольной группы до и после нагрузки. Как было отмечено выше, исследование проводилось в два этапа в разные дни. Участники блока А в первый день выполняли физическую нагрузку – тест *PWC170*, сразу после которого выполняли когнитивный тест *IGT*. Во второй день участники этого блока выполняли этот же тест без нагрузки. Участники блока Б в первый день выполняли указанный тест без нагрузки, а во второй день – физическую нагрузку – тест *PWC170*, сразу после которого выполняли когнитивный тест *IGT*.

Исходно между блоками А и Б достоверных различий в результатах Айова теста не было. Результаты теста в контрольной группе после физической нагрузки не изменялись. В то же время в группах спортсменов были выявлены разнонаправленные изменения.

В группе ЛА после физической нагрузки скорость научения увеличивалась в обоих блоках. Количество правильных ответов так же возрастало, но при этом после нагрузки у спортсменов в блоке Б оно было достоверно, чем в блоке А. Вероятно, здесь сказывалось, что группа Б после нагрузки тест выполняла повторно, что в сочетании с высокой лабильностью нервной системы, показанной в других тестах, давала им определенное преимущество.

В группе ТА после физической нагрузки скорость научения снижалась в обоих блоках, эффект нагрузки у этих спортсменов был противоположным. Количество правильных ответов не изменялось в обоих блоках.

Оценка биоэлектрической активности головного мозга. В табл. 3 представлены величины средней мощности частотных спектров для α -, высоко- и низкочастотных β -, θ - и Δ -диапазонов в обследованных группах. В состоянии покоя наблюдали преобладание мощности спектра α -диапазона в затылочной области. Достоверных различий между группами спортсменов и нетренированных волонтеров не зарегистрировали.

У нетренированных волонтеров при выполнении теста *IGT* наблюдалось значительное (в два раза) снижение мощности спектра α -диапазона в затылочных отделах в сравнении с состоянием покоя с открытыми глазами. При выполнении *IGT* после физической нагрузки наблюдалась аналогичная реакция. Полученные результаты в целом совпадают с данными, опубликованными ранее в литературе [31].

У спортсменов группы ЛА при выполнении теста *IGT* мы так же отмечали существенное снижение мощности спектра α -диапазона в сравнении с состоянием покоя с открытыми глазами, однако после физической нагрузки величина мощности спектра возрастала, хотя и не достигала значений, регистрируемых в состоянии покоя. По всей видимости, спортсмены-легкоатлеты в большей степени адаптированы к нагрузкам циклического характера.

У спортсменов-тяжелотлетов картина была принципиально иной. Мы не отмечали угнетения активности α -диапазона в затылочной области при выполнении теста *IGT*. При этом в лобно-центральной области справа активность α -диапазона усиливалась. В то же время после физической нагрузки активность α -диапазона угнеталась во всех отделах. Можно предположить, что полученные различия связаны с тем, что физическая нагрузка циклического характера не является привычной для спортсменов-тяжелотлетов.

Мощность спектра β -диапазона (как высоких, так и низких частот) у волонтеров контрольной группы так же преобладала в затылочных отделах. При выполнении теста *IGT* отмечалось увеличение значений спектральной мощности отмеченных частотных диапазонов, что так же согласуется с литературными данными [31, 32]. После физической нагрузки мощность спектра β -диапазона возрастала еще в большей степени.

У спортсменов обеих групп, в отличие от контроля, не отмечалось преобладания мощности спектра β -диапазона в затылочной области — она приблизительно равномерно распределялась по всем отделам. Однако у легкоатлетов при выполнении теста *IGT* мощность спектра β -диапазона низких частот достоверно не изменялась, а высоких частот — снижалась. После физической

нагрузки мощность спектра β -диапазона снижалась еще сильнее во всех отделах.

У спортсменов-тяжелотлетов мы наблюдали возрастание мощности спектра β -диапазона при выполнении теста *IGT* во всех отделах. После физической нагрузки указанный показатель снижался в центрально-затылочной области для β -диапазона низких частот и усиливался в височной области для β -диапазона высоких частот.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для объяснения механизмов выявленных различий в показателях психологических тестов у спортсменов разных специализаций в покое и после нагрузки можно привлечь несколько гипотез. Во-первых, важную роль могут играть факторы ангиогенеза при физических нагрузках. Физическая активность стимулирует выработку факторов роста сосудов, усиливается ангио-, синапто-, и нейрогенез, что ведет к улучшению снабжения мозга кислородом и энергией, снимает симптомы депрессии, стимулирует когнитивную деятельность [33–35].

Во-вторых, в последние годы все большее внимание исследователей привлекает возрастание уровня BDNF в мозге, крови и мышцах при физических нагрузках [36]. BDNF — нейротрофический фактор мозга (brain-derived neurotrophic factor) — белок человека, кодируемый соответствующим геном. BDNF принадлежит к семейству нейротрофических белков, облегчающих нейрогенез, нейрорегенерацию, выживаемость клеток. Продуцируется как в ЦНС, так и других тканях, включая сосудистый эндотелий, запасается в тромбоцитах. Высокая экспрессия мРНК BDNF обнаружена в гиппокампе и коре головного мозга [37].

Последние гипотезы, базирующиеся на результатах, полученных в основном на здоровых лицах и животных, предполагают, что упражнения на выносливость приводят к увеличению максимального потребления кислорода, что, в свою очередь, влияет на нейрогенез через увеличение нейротрофинов (особенно, BDNF). Несмотря на то, что большинство нейронов в мозге млекопитающих образуется внутриутробно, некоторые отделы взрослого мозга сохраняют способность создавать новые нейроны из стволовых клеток при нейрогенезе. BDNF увеличивает численность и дифференциацию новых нейронов [38].

Так же важно отметить, что аэробная нагрузка — тест *PWC170* — более привычен для легкоатлетов и непривычен для тяжелоатлетов.

Изменение амплитудных и частотных характеристик β -диапазона является предметом дискуссии. Повышение уровня активации мозга при решении арифметических задач, при чтении текста и просто при открывании глаз связывают с ро-

Таблица 3. Величины средней мощности спектра электроэнцефалограммы (мкВ²/с) у спортсменов и нетренированных волонтеров во время выполнения когнитивного теста *IGT* до и после физической нагрузки (*M* ± *m*)

Группы	Контрольная группа				Группа Легкая атлетика				Группа Тяжелая атлетика				
	ответы	в покое	тест до нагрузки	тест после нагрузки	в покое	тест до нагрузки	тест после нагрузки	тест после нагрузки	в покое	тест до нагрузки	тест после нагрузки	тест после нагрузки	
α (8–13 Гц)	<i>FP</i> ₁	2.30 ± 0.12	2.05 ± 0.11	3.45 ± 0.18*, #	1.75 ± 0.07&	1.04 ± 0.04*, \$	1.71 ± 0.06*, @	3.03 ± 0.12#	3.03 ± 0.05	2.65 ± 0.14	3.03 ± 0.12#	3.03 ± 0.12#	
	<i>FP</i> ₂	2.30 ± 0.15	1.79 ± 0.13*	1.79 ± 0.11*, ¥	1.6 ± 0.09&	1.04 ± 0.03*, \$	1.76 ± 0.04#	3.85 ± 0.18*, #, @, ¥	2.37 ± 0.08¥	2.06 ± 0.13	3.85 ± 0.18*, #, @, ¥	3.85 ± 0.18*, #, @, ¥	
	<i>C</i> ₃	1.91 ± 0.18	1.13 ± 0.12*	0.91 ± 0.15*	2.05 ± 0.11	0.99 ± 0.08*	0.97 ± 0.03*	1.3 ± 0.04&	1.74 ± 0.05*, #, @	1.3 ± 0.04&	0.97 ± 0.08*	1.74 ± 0.05*, #, @	1.74 ± 0.05*, #, @
	<i>C</i> ₄	2.25 ± 0.14	1.06 ± 0.12*	0.92 ± 0.19*	2.22 ± 0.11	1.07 ± 0.11*	2.06 ± 0.12*, @, ¥	1.63 ± 0.05&, ¥	2.16 ± 0.11*, #, @, ¥	1.63 ± 0.05&, ¥	1.04 ± 0.09*	2.16 ± 0.11*, #, @, ¥	2.16 ± 0.11*, #, @, ¥
	<i>T</i> ₃	0.56 ± 0.05	0.71 ± 0.08	0.55 ± 0.13	0.39 ± 0.05	0.28 ± 0.04*, \$	0.63 ± 0.04*, #	0.47 ± 0.05	1.86 ± 0.09*, #, @	0.47 ± 0.05	0.46 ± 0.02\$	1.86 ± 0.09*, #, @	1.86 ± 0.09*, #, @
	<i>T</i> ₄	0.59 ± 0.07	0.59 ± 0.06	0.45 ± 0.12	0.45 ± 0.07	0.27 ± 0.06*, \$	0.62 ± 0.03*, #	0.65 ± 0.03¥	2.96 ± 0.07*, #, @, ¥	0.65 ± 0.03¥	0.67 ± 0.04	2.96 ± 0.07*, #, @, ¥	2.96 ± 0.07*, #, @, ¥
	<i>O</i> ₁	5.29 ± 0.11	2.32 ± 0.15*	2.00 ± 0.25*	6.07 ± 0.24	3.81 ± 0.13*, \$	1.56 ± 0.05*, #, @	2.9 ± 0.12&	2.55 ± 0.14*, @	2.9 ± 0.12&	1.06 ± 0.07*, \$	2.55 ± 0.14*, @	2.55 ± 0.14*, @
	<i>O</i> ₂	4.21 ± 0.13	2.57 ± 0.18*	2.11 ± 0.22*	4.76 ± 0.22¥	3.47 ± 0.15\$	1.8 ± 0.03*, #	3.78 ± 0.15¥	3.65 ± 0.16*, @, ¥	3.78 ± 0.15¥	2.00 ± 0.08*, \$, ¥	3.65 ± 0.16*, @, ¥	3.65 ± 0.16*, @, ¥
Высокочастотный β (25–40 Гц)	<i>FP</i> ₁	0.11 ± 0.02	0.33 ± 0.03*	0.19 ± 0.03*, #	0.38 ± 0.05&	0.18 ± 0.05*, \$	0.23 ± 0.01*	0.47 ± 0.02*, @	0.36 ± 0.02&	0.43 ± 0.03	0.47 ± 0.02*, @	0.47 ± 0.02*, @	
	<i>FP</i> ₂	0.12 ± 0.02	0.24 ± 0.02*	0.19 ± 0.02*	0.31 ± 0.06&	0.18 ± 0.03*, \$	0.23 ± 0.01*	0.63 ± 0.03*, #, @, ¥	0.28 ± 0.01&	0.31 ± 0.02	0.63 ± 0.03*, #, @, ¥	0.63 ± 0.03*, #, @, ¥	
	<i>C</i> ₃	0.1 ± 0.03	0.22 ± 0.02*	0.16 ± 0.02#	0.35 ± 0.04&	0.11 ± 0.02*, \$	0.16 ± 0.01*	0.23 ± 0.02&	0.43 ± 0.03*, @	0.23 ± 0.02&	0.48 ± 0.04*, \$	0.43 ± 0.03*, @	0.43 ± 0.03*, @
	<i>C</i> ₄	0.11 ± 0.02	0.17 ± 0.02*	0.18 ± 0.02*	0.25 ± 0.05&	0.11 ± 0.02*, \$	0.24 ± 0.02*, ¥	0.22 ± 0.02&	0.42 ± 0.03*, @	0.22 ± 0.02&	0.38 ± 0.03*, \$	0.42 ± 0.03*, @	0.42 ± 0.03*, @
	<i>T</i> ₃	0.13 ± 0.02	1.50 ± 0.09*	0.38 ± 0.01*, #	0.31 ± 0.05&	0.11 ± 0.01*, \$	0.15 ± 0.01*, @	0.14 ± 0.01	0.43 ± 0.02*, #	0.14 ± 0.01	1.13 ± 0.11*, \$	0.43 ± 0.02*, #	0.43 ± 0.02*, #
	<i>T</i> ₄	0.31 ± 0.04	0.94 ± 0.07*, ¥	0.33 ± 0.03#	0.18 ± 0.02&	0.12 ± 0.01*, \$	0.12 ± 0.01*, @	0.33 ± 0.02¥	0.67 ± 0.05*, #, @, ¥	0.33 ± 0.02¥	1.04 ± 0.09*	0.67 ± 0.05*, #, @, ¥	0.67 ± 0.05*, #, @, ¥
	<i>O</i> ₁	0.62 ± 0.05	1.23 ± 0.14*	0.94 ± 0.05*	0.34 ± 0.03&	0.18 ± 0.03*, \$	0.24 ± 0.02*, @	0.48 ± 0.03	0.76 ± 0.06*, @	0.48 ± 0.03	0.53 ± 0.05\$	0.76 ± 0.06*, @	0.76 ± 0.06*, @
	<i>O</i> ₂	0.41 ± 0.02	1.69 ± 0.18*	1.21 ± 0.11*, #	0.25 ± 0.03&	0.20 ± 0.05\$	0.27 ± 0.01@	0.33 ± 0.02¥	0.75 ± 0.03*, @	0.33 ± 0.02¥	0.78 ± 0.08*, \$	0.75 ± 0.03*, @	0.75 ± 0.03*, @
Низкочастотный β (13–25 Гц)	<i>FP</i> ₁	0.34 ± 0.02	0.53 ± 0.05*	0.52 ± 0.03*	0.48 ± 0.05	0.34 ± 0.04*	0.57 ± 0.03*, #	1.1 ± 0.08@	0.8 ± 0.04&	1.38 ± 0.09*, \$	1.1 ± 0.08@	1.1 ± 0.08@	
	<i>FP</i> ₂	0.36 ± 0.03	0.44 ± 0.08*	0.39 ± 0.02	0.41 ± 0.04	0.39 ± 0.03	0.55 ± 0.03*, #	1.34 ± 0.07*, #, @	0.53 ± 0.02&, ¥	0.63 ± 0.06\$, ¥	1.34 ± 0.07*, #, @	1.34 ± 0.07*, #, @	
	<i>C</i> ₃	0.31 ± 0.03	0.39 ± 0.03*	0.3 ± 0.02	0.63 ± 0.06&	0.27 ± 0.04*, \$	0.4 ± 0.01*, #	0.41 ± 0.02	0.8 ± 0.05*, @	0.63 ± 0.04*, \$	0.8 ± 0.05*, @	0.8 ± 0.05*, @	
	<i>C</i> ₄	0.31 ± 0.03	0.3 ± 0.02	0.31 ± 0.05	0.58 ± 0.03&	0.29 ± 0.02*	0.57 ± 0.05*, @	0.54 ± 0.03¥	0.79 ± 0.04*, @	0.56 ± 0.02\$	0.79 ± 0.04*, @	0.79 ± 0.04*, @	
	<i>T</i> ₃	0.22 ± 0.02	1.27 ± 0.11*	0.5 ± 0.04*, #	0.41 ± 0.04&	0.18 ± 0.01*, \$	0.26 ± 0.02*, @	0.22 ± 0.01	0.88 ± 0.06*, #, @	0.57 ± 0.03*, \$	0.88 ± 0.06*, #, @	0.88 ± 0.06*, #, @	
	<i>T</i> ₄	0.34 ± 0.02	1.1 ± 0.1*	0.26 ± 0.02*, #, ¥	0.26 ± 0.02¥	0.20 ± 0.03\$	0.24 ± 0.02	0.65 ± 0.04&, ¥	1.33 ± 0.08*, #, @, ¥	0.91 ± 0.07*, ¥	1.33 ± 0.08*, #, @, ¥	1.33 ± 0.08*, #, @, ¥	
	<i>O</i> ₁	1.04 ± 0.06	1.27 ± 0.12	1.14 ± 0.11	0.67 ± 0.03&	0.42 ± 0.05*, \$	0.64 ± 0.04*, @	0.51 ± 0.03&	1.18 ± 0.08*, #	0.56 ± 0.05\$	1.18 ± 0.08*, #	1.18 ± 0.08*, #	
	<i>O</i> ₂	0.75 ± 0.05	1.66 ± 0.15*	1.31 ± 0.12*	0.60 ± 0.02	0.56 ± 0.07\$	0.76 ± 0.05*, @	1.24 ± 0.07&, ¥	1.83 ± 0.05*, #, ¥	1.26 ± 0.11\$, ¥	1.83 ± 0.05*, #, ¥	1.83 ± 0.05*, #, ¥	

Таблица 3. Окончание

Группы диапазоны	Контрольная группа				Группа Легкая атлетика				Группа Тяжелая атлетика			
	в покое	тест до нагрузки	тест после нагрузки	в покое	тест до нагрузки	тест после нагрузки	в покое	тест до нагрузки	тест после нагрузки			
θ (4–8 Гц)	FP_1	11.13 ± 1.12	18.33 ± 2.11*	32.20 ± 2.7*, #	5.85 ± 0.24 ^{&}	5.77 ± 0.24 ^{\$}	10.03 ± 0.75*, **, @	24.2 ± 1.67 ^{&}	18.9 ± 1.6*	16.5 ± 1.2*, @		
	FP_2	11.53 ± 1.09	16.22 ± 1.49*	9.6 ± 1.2*, ¥	5.48 ± 0.32 ^{&}	5.78 ± 0.02 ^{\$}	10.11 ± 0.88*, #	19.3 ± 1.75 ^{&}	16.4 ± 1.8	17.7 ± 1.5 [@]		
	C_3	2.39 ± 0.21	4.39 ± 0.15*	2.97 ± 0.18#	1.68 ± 0.12 ^{&}	1.55 ± 0.03 ^{\$}	2.51 ± 0.07*, #	1.84 ± 0.03 ^{&}	2.33 ± 0.12*, \$	5.31 ± 0.27*, @, #		
	C_4	2.45 ± 0.18	2.81 ± 0.22¥	2.62 ± 0.21	1.64 ± 0.15 ^{&}	1.53 ± 0.06 ^{\$}	5.26 ± 0.04*, #, @, ¥	2.16 ± 0.08	2.13 ± 0.14	6.09 ± 0.42*, #, @		
	T_3	0.89 ± 0.05	2.58 ± 0.25*	1.98 ± 0.08*, #	0.47 ± 0.07 ^{&}	0.55 ± 0.02 ^{\$}	1.49 ± 0.03*, #	1.22 ± 0.04 ^{&}	1.35 ± 0.07 ^{\$}	6.97 ± 0.33*, #, @		
	T_4	0.88 ± 0.06	1.46 ± 0.17*, ¥	1.39 ± 0.07*	0.41 ± 0.04 ^{&}	0.5 ± 0.02 ^{\$}	1.44 ± 0.02*, #	1.19 ± 0.09 ^{&}	1.86 ± 0.05	10.74 ± 0.8*, #, @, ¥		
	O_1	2.3 ± 0.09	4.67 ± 0.36*	3.81 ± 0.04*, #	1.46 ± 0.13 ^{&}	1.42 ± 0.03 ^{\$}	3.14 ± 0.08*, #	1.67 ± 0.07 ^{&}	2.01 ± 0.06*, \$	6.98 ± 0.54*, #, @		
	O_2	2.49 ± 0.11	4.03 ± 0.38*	3.22 ± 0.02*, #	1.53 ± 0.17 ^{&}	1.74 ± 0.02 ^{\$}	4.51 ± 0.05*, #, @, ¥	3.2 ± 0.05 ^{&} , ¥	3.22 ± 0.04 ^{\$} , ¥	9.12 ± 0.71*, #, @, ¥		
Δ (0.5–3.5 Гц)	FP_1	146.8 ± 22.3	211.7 ± 25.3*	282.8 ± 23.7*, #	48.26 ± 5.2 ^{&}	37.36 ± 3.5 ^{\$}	146.6 ± 18.6*, #, @	255.8 ± 18.6 ^{&}	571.7 ± 35.8 ^{\$} , *	601.6 ± 32.8*, @		
	FP_2	135.0 ± 25.4	159.3 ± 19.7¥	181.4 ± 19.9*, ¥	42.04 ± 3.5 ^{&}	38.16 ± 3.8 ^{\$}	156.1 ± 12.9*, #	230.5 ± 22.9 ^{&}	478.6 ± 27.4*, ¥, \$	1748.2 ± 57.9*, **, @, ¥		
	C_3	23.3 ± 2.14	57.6 ± 8.5*	63.4 ± 7.5*	5.29 ± 0.25 ^{&}	6.5 ± 0.24 ^{\$}	135.1 ± 17.3*, #, @	19.3 ± 3.7 ^{&}	37.1 ± 2.8*, \$	474.3 ± 22.7*, #, @		
	C_4	32.3 ± 2.18¥	42.1 ± 7.2*, ¥	62.8 ± 8.2*, #	4.67 ± 0.28 ^{&}	5.89 ± 0.32 ^{\$}	94.9 ± 11.8*, @, ¥	19.1 ± 2.6 ^{&}	19.4 ± 1.9*, \$, ¥	690.3 ± 34.1*, #, @, ¥		
	T_3	19.6 ± 1.28	92.9 ± 9.3	149.0 ± 14.3*, *	3.72 ± 0.18 ^{&}	3.56 ± 0.17 ^{\$}	68.2 ± 5.6*, #, @	27.9 ± 3.5 ^{&}	56.0 ± 3.7*, \$	1203.5 ± 42.8*, #, @		
	T_4	28.1 ± 1.34	42.1 ± 8.9*, ¥	151.5 ± 12.7*, #	1.69 ± 0.07 ^{&} , ¥	2.66 ± 0.15*, \$, ¥	85.2 ± 6.4*, #, @, ¥	19.3 ± 2.8 ^{&} , ¥	64.3 ± 4.0*, \$	690.3 ± 36.2*, #, @, ¥		
	O_1	30.6 ± 1.45	73.4 ± 6.4*	124.9 ± 21.5*, #	3.67 ± 0.14 ^{&}	6.68 ± 0.24*, \$	104.9 ± 9.1*, #, @	17.8 ± 1.9 ^{&}	36.9 ± 3.2*, \$	958.3 ± 41.5*, #, @		
	O_2	47.6 ± 2.08¥	64.7 ± 5.9*	177.9 ± 15.8*, #, ¥	3.41 ± 0.16 ^{&}	6.39 ± 0.36*, \$	122.7 ± 10.3*, #, @, ¥	23.5 ± 2.7 ^{&} , ¥	33.7 ± 3.3*, \$	1098.4 ± 57.3*, #, @, ¥		

Примечание: отведения: FP – лобные (1 – слева, 2 – справа), C – область центральной борозды (3 – слева, 4 – справа), T – височные (3 – слева, 4 – справа), O – затылочные (1 – слева, 2 – справа). * – достоверность различий в группе в покое и во время выполнения теста, $p < 0.05$. # – достоверность различий в группе во время выполнения теста до и после физической нагрузки, $p < 0.05$. & – достоверность различий с контрольной группой в покое, $p < 0.05$. \$ – достоверность различий с контрольной группой во время выполнения теста, $p < 0.05$. @ – достоверность различий с контрольной группой после физической нагрузки, $p < 0.05$. ¥ – достоверность межполушарной асимметрии, $p < 0.05$.

стом мощности β -частот [39]. Полученные нами характеристики β -активности могут быть связаны с различной степенью активации нервных центров при выполнении нагрузочного тестирования в разных группах и отражать уровень адаптационного потенциала, степень эмоциональной стабильности устойчивости к стрессовым ситуациям.

В состоянии покоя у тех обследованных волонтеров — как нетренированных лиц, так и спортсменов обоих специализаций — медленная активность θ - и Δ -диапазонов преобладала во фронтальной области коры.

При выполнении теста *IGT* у всех обследованных групп отмечалось существенное усиление мощности спектра Δ -диапазона, преимущественно во фронтальной и затылочной области. Однако после физической нагрузки указанный показатель снижался, приближаясь к показателям, регистрируемым в покое.

Сходная динамика отмечалась и со стороны мощности спектра θ -диапазона в группе спортсменов—легкоатлетов. Как в контроле, так и у тяжелоатлетов изменения со стороны мощности спектра θ -диапазона были незначительны как при выполнении теста *IGT*, так и после физической нагрузки.

Вопрос о функциональном значении медленных ритмов в настоящее время остается предметом дискуссий. Однако существуют факты, позволяющие рассматривать этот ритм как показатель состояния психофизиологической направленности человека, индикатор эмоционального возбуждения, “ритм напряжения” [31]. Возможно, выявляемые изменения медленной активности при выполнении теста *IGT* отражают эмоциональную компоненту восприятия теста.

Ограничения и перспективы работы. Основное ограничение работы в том, что *IGT*-тест испытуемые выполняли дважды — до и после нагрузки, и второй результат мог быть искажен влиянием обучения. Для нивелирования этого влияния исследование выполнялось в два разных дня (с интервалом 3–5 дней), и испытуемые делились на две подгруппы. Первая подгруппа в первый день выполняла *IGT*-тест и остальные тесты, а во второй день — физическую нагрузку и сразу после нее — повторный *IGT*-тест. Вторая подгруппа в первый день выполняла физическую нагрузку и сразу после нее — *IGT*-тест, а во второй день — *IGT*-тест и остальные тесты. Поскольку никаких различий между этими подгруппами выявлено не было, при обработке и анализе результатов они были объединены.

Перспектива работы возможна в последующих исследованиях сформулировать практические рекомендации для использования психологических тестов и ЭЭГ-контроля в спортивном отборе и

тренировочном процессе в видах спорта, сочетающих физические и когнитивные нагрузки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении психологических тестов до нагрузки спортсмены, занимающиеся циклическими видами нагрузки, показали результаты лучше, чем тяжелоатлеты. Результаты контрольной группы были ниже, чем у легкоатлетов, но выше, чем у тяжелоатлетов. По всей видимости, указанные виды нагрузок при регулярном использовании оказывают противоположные эффекты на когнитивную сферу. Однократно предъявляемая физическая нагрузка циклического характера не оказывала влияния на результаты психологического тестирования у нетренированных волонтеров и у тяжелоатлетов, но способствовала улучшению результатов психологического тестирования у спортсменов, тренирующихся в циклических видах спорта. Выявленные различия могут быть связаны с факторами ангиогенеза и/или усилением продукции нейротрофического фактора BDNF. Также важно учитывать, что нагрузка циклического характера привычна легкоатлетам, но непривычна тяжелоатлетам.

У спортсменов различных специализаций реакция биоэлектрической активности головного мозга на когнитивную и физическую нагрузку по многим показателям количественно и качественно отличается от нетренированных волонтеров. При выполнении когнитивной пробы у спортсменов отмечается усиление мощности спектров Δ (а у тяжелоатлетов — и θ)-диапазона в большей степени, чем в контроле. В отличие от контрольной группы, физическая нагрузка у спортсменов чаще способствует снижению мощности спектров ЭЭГ, особенно в β - и Δ -диапазонах.

Таким образом, можно предполагать, что выявленные различия в результатах психофизиологических тестов у спортсменов различных специализаций и нетренированных волонтеров в значительной степени определяются особенностями функциональной активности различных отделов коры, что находит свое отражение в характеристиках паттернов биоэлектрической активности мозга.

Полученные результаты раскрывают определенные аспекты взаимосвязи характера физических нагрузок и формирования когнитивной сферы и могут быть использованы при построении тренировочных программ как в различных видах спорта, так и программ физической подготовки в экстремальных профессиях, характеризующихся сочетанием физических и когнитивных нагрузок.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской

декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены комиссией по биоэтике Биологического института Томского государственного университета (протокол № 33 от 02.12.2019).

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Финансирование работы. Исследование выполнено при поддержке Программы развития ТГУ (“Приоритет-2030”).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчинникова Н.А., Капилевич Л.В. Аэробные нагрузки как фактор развития когнитивных способностей в подростковом возрасте // Теория и практика физической культуры. 2020. № 11. С. 50.
2. Perrey S., Besson P. Studying brain activity in sports performance: contributions and issues // *Progr. Brain Res.* 2018. V. 240. P. 247.
3. Гультяева В.В., Зинченко М.И., Урюмцев Д.Ю. и др. Физическая нагрузка при лечении депрессии. Часть 1. Физиологические механизмы // *Журн. неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2019. Т. 119. № 7. С. 112.
Gulyaeva V.V., Zinchenko M.I., Uryumtsev D.Y. et al. [Exercise for depression treatment. Physiological mechanisms] // *Zh. Nevrol. Psikhiatr. Im. S.S. Korsakova.* 2019. V. 119. № 7. P. 112.
4. Головин М.С., Балиоз Н.В., Кривошеков С.Г., Айзман Р.И. Изменение ЭЭГ показателей у студентов, занимающихся спортом, после однократной и продолжительной низкочастотной аудиовизуальной стимуляции // *Вестник Новосибирского государственного педагогического университета.* 2016. Т. 6. № 1. С. 131.
Golovin M.S., Balioz N.V., Krivoshekov S.G., Aizman R.I. [Change of the students' EEG parameters engaging in athletics, after single and multiple low-frequency audiovisual stimulation] // *Novosibirsk State Pedagogical University Bulletin.* 2016. V. 6. № 1. P. 131.
5. Черепкина Л.П., Тристан В.Г. Особенности биоэлектрической активности головного мозга спортсменов // *Вестник ЮУрГУ. Образование, здравоохранение, физическая культура.* 2011. № 39. С. 27.
6. Del Percio C., Infarinato F., Marzano N. et al. Reactivity of alpha rhythms to eyes opening is lower in athletes than non-athletes: a high-resolution EEG study // *Int. J. Psychophysiol.* 2011. V. 82. № 3. P. 240.
7. Антипова О.С., Харитонова Л.Г. Психофизиологические особенности спортсменов, занимающихся циклическими и ациклическими видами спорта // *Физкультурное образование Сибири.* 2014. № 1 (31). С. 73.
8. Michelle W., Weng T.B., Burzynska A.Z. et al. Fitness, but not physical activity, is related to functional integrity of brain networks associated with aging // *NeuroImage.* 2016. V. 131. P. 113.
9. Ruscheweyh R., Willemer C., Krüger K. et al. Physical activity and memory functions: An interventional study // *Neurobiol. Aging.* 2011. V. 32. № 7. P. 1304.
10. Crick F., Koch C. Are we aware of neural activity in primary visual cortex? // *Nature.* 1995. V. 375. № 6527. P. 121.
11. Овчинникова Н.А., Южанин Э.Ф., Медведева Е.В., Капилевич Л.В. Характеристики биоэлектрической активности головного мозга у спортсменов при сочетании когнитивной и физических нагрузок // *Человек. Спорт. Медицина.* 2021. Т. 21. № 3. С. 64.
Ovchinnikova N.A., Yuzanin E.F., Medvedeva E.V., Kapilevich L.V. [Bioelectrical activity of the brain in athletes under cognitive and physical load] // *Human Sport. Medicine.* 2021. V. 21. № 3. P. 64.
12. Кабачкова А.В., Фомченко В.В., Фролова Ю.С. Двигательная активность студенческой молодежи // *Вестник Томского государственного университета.* 2015. № 392. С. 175.
Kabachkova A.V., Fomchenko V.V., Frolova Yu.S. [Students' physical activity] // *Tomsk State University J.* 2015. № 392. P. 175.
13. Furley P., Wood G. Working memory, attentional control, and expertise in sports: a review of current literature and directions for future research // *J. Appl. Res. Memory Cogn.* 2016. V. 5. P. 415.
14. Wang C.H., Moreau D., Kao S.C. From the lab to the field: potential applications of dry EEG systems to understand the brain-behavior relationship in sports // *Front. Neurosci.* 2019. V. 13. P. 893.
15. Илларионова А.В., Капилевич Л.В. Характеристики биоэлектрической активности головного мозга при тренировке с использованием аппаратов с функцией обратной связи // *Человек. Спорт. Медицина.* 2019. Т. 19. № S1. С. 7.
Illarionova A.V., Kapilevich L.V. [Characteristics of brain bioelectrical activity during feedback training] // *Human Sport. Medicine.* 2019. V. 19. № S1. P. 7.
16. Blazhenetsa G., Kurz A., Frings L. et al. Brain activation patterns during visuomotor adaptation in motor experts and novices: An FDG PET study with unrestricted movements // *J. Neurosci. Methods.* 2021. V. 350. P. 109061.
17. Cheron G., Petit G., Cheron J. et al. Brain oscillations in sport: toward EEG biomarkers of performance // *Front. Psychol.* 2016. V. 7. P. 246.
18. Капилевич Л.В., Ежова Г.С., Захарова А.Н. и др. Биоэлектрическая активность головного мозга и церебральная гемодинамика у спортсменов при сочетании когнитивной и физической нагрузки // *Физиология человека.* 2019. Т. 45. № 2. С. 58.
Kapilevich L.V., Yezhova G.S., Zakharova A.N. et al. Brain bioelectrical activity and cerebral hemodynamics in athletes under combined cognitive and physical loading // *Human Physiology.* 2019. V. 45. № 2. P. 164.
19. Кабачкова А.В., Лалаева Г.С., Захарова А.Н., Капилевич Л.В. Психофизиологические и когнитивные особенности лиц с различным уровнем двигатель-

- ной активности // Теория и практика физической культуры. 2016. № 12. С. 85.
- Kabachkova A.V., Lalaeva G.S., Zakharova A.N., Kapilevich L.V.* [Psycho-physiological and cognitive abilities rating versus individual motor activity levels] // Теория и Практика Физической Культуры. 2016. № 12. П. 85.
20. *Лалаева Г.С., Захарова А.Н., Кабачкова А.В. и др.* Психофизиологические особенности спортсменов циклических и силовых видов спорта // Теория и практика физической культуры. 2015. № 11. С. 73.
- Kabachkova A.V., Zakharova A.N., Kabachkova A.V. et al.* [Psychophysiological features of cyclic and endurance athletes] // Теория и Практика Физической Культуры. 2015. № 11. П. 25.
21. *Lin C.-T., King J.T., John A.R. et al.* The Impact of Vigorous Cycling Exercise on Visual Attention: A Study With the BR8 Wireless Dry EEG System // Front. Neurosci. 2021. V. 15. P. 621365.
22. *Wang C.H., Tu K.C.* Neural correlates of expert behavior during a domain-specific attentional cueing task in badminton players // J. Sport Exerc. Psychol. 2017. V. 39. № 3. P. 209.
23. *Копылов М.С.* Проблемы использования теста РWC170 для контроля физической работоспособности представителей бега на средние дистанции // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2012. № 4 (86). С. 68.
24. *Bechara A., Damasio H., Tranel D., Damasio A.R.* The Iowa Gambling Task and the somatic marker hypothesis: some questions and answers // Trends Cogn. Sci. 2005. V. 9. № 4. P. 159.
25. *Buelow M.T., Suhr J.A.* Construct validity of the Iowa gambling task // Neuropsychol. Rev. 2009. V. 19. № 1. P. 102.
26. *Корнилова Т.В., Чумакова М.А., Корнилов. С.А.* Интеллект и успешность стратегий прогнозирования при выполнении Айова-теста (IGT) // Психология. Журн. Высшей школы экономики. 2018. Т. 15. № 1. С. 10.
27. *Jansen P., Paes F., Hoja S., Machado S.* Mental Rotation Test Performance in Brazilian and German Adolescents: The Role of Sex, Processing Speed, and Physical Activity in Two Different Cultures // Front. Psychol. 2019. V. 10. P. 945.
28. *Jaeggi S.M., Studer-Luethi B., Buschkuhl M. et al.* The relationship between n-back performance and matrix reasoning – implications for training and transfer // Intelligence. 2010. V. 38. № 6. P. 625.
29. *Verbruggen F., Logan G.D.* Response Inhibition in the Stop-Signal Paradigm // Trends Cogn. Sci. 2008. V. 12. № 11. P. 418.
30. *Nyhus E., Barceló F.* The Wisconsin Card Sorting Test and the cognitive assessment of prefrontal executive functions: A critical update // Brain Cogn. 2009. V. 71. № 3. P. 437.
31. *Seleznov I., Zyma I., Kiyono K.* Detrended Fluctuation, Coherence, and Spectral Power Analysis of Activation Rearrangement in EEG Dynamics During Cognitive Workload // Front. Hum. Neurosci. 2019. V. 13. P. 270.
32. *Кабачкова А.В., Лалаева Г.С., Захарова А.Н., Канулевич Л.В.* Влияние уровня двигательной активности на пространственное распределение альфа-ритма электроэнцефалограммы // Теория и практика физической культуры. 2016. № 2. С. 83.
- Kabachkova A.V., Lalaeva G.S., Zakharova A.N., Kapilevich L.V.* [EEG alpha rhythm spatial distribution depending on level of motor activity] // Теория и Практика Физической Культуры. 2016. № 2. П. 83.
33. *Bullitt E., Rahman F.N., Smith J.K. et al.* The effect of exercise on the cerebral vasculature of healthy aged subjects as visualized by MR angiography // Am. J. Neuroradiol. 2009. V. 30. № 10. P. 1857.
34. *Voss M.W., Vivar C., Kramer A.F., van Praag H.* Bridging animal and human models of exercise-induced brain plasticity // Trends. Cogn. Sci. 2013. V. 17. № 10. P. 525.
35. *Pereira A.C., Huddleston D.E., Brickman A.M. et al.* An in vivo correlate of exercise-induced neurogenesis in the adult dentate gyrus // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2007. V. 104. № 13. P. 5638.
36. *Pedersen B.K., Pedersen M., Krabbe K.S. et al.* Role of exercise-induced brain-derived neurotrophic factor production in the regulation of energy homeostasis in mammals // Exp. Physiol. 2009. V. 94. № 12. P. 1153.
37. *Tsai S.J.* Brain-derived neurotrophic factor: a bridge between major depression and Alzheimer's disease? // Med. Hypotheses. 2003. V. 61. № 1. P. 110.
38. *Shohayeb B., Diab M., Ahmed M., Ng D.C.H.* Factors that influence adult neurogenesis as potential therapy // Transl. Neurodegener. 2018. V. 7. P. 4.
39. *Park J.L., Fairweather M.M., Donaldson D.I.* Making the case for mobile cognition: EEG and sports performance // Neurosci. Biobehav. Rev. 2015. V. 52. P. 117.

Influence of Physical Loads on Cognitive Functions and Bioelectric Activity of the Brain in Athletes of Various Specializations

N. A. Ovchinnikova^c, E. V. Medvedeva^a, G. S. Ezhova^a, S. G. Krivoshchekov^b, L. V. Kapilevich^{a, c, *}

^aNational Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

^bScientific Research Institute of Neurosciences and Medicine, Novosibirsk, Russia

^cNational Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

*E-mail: kapil@yandex.ru

Methods of psychophysiological testing and electroencephalography were used to study the effect of physical activity on cognitive functions (in particular, in the decision-making ability test) and brain bioelectrical activity (in particular, the power of the EEG amplitude in the beta and delta ranges) in athletes of various spe-

cializations. It is shown that when performing psychological tests before the load, athletes involved in cyclic types of load demonstrate better results than weightlifters – they have a higher learning rate, a higher percentage of correct answers, a shorter response time and a faster attention switching speed. The results of psychological tests before exercise in the control group were lower than in athletes, but higher than in weightlifters. The single-time physical load of a cyclic nature did not affect the results of the Iowa Gambling Task in untrained volunteers and weightlifters, but contributed to the improvement of test results in athletes training in cyclic sports – the learning rate and the percentage of correct answers increased. When performing a cognitive test, athletes noted an increase in the power of the spectra of the delta (and in weightlifters – and theta) range to a greater extent than in the control. In contrast to the control group, physical activity in athletes more often contributes to a decrease in the power of the EEG spectra, especially in the beta and delta ranges. The revealed differences in the results of psychophysiological tests in athletes of various specializations and untrained volunteers are largely determined by the features of the functional activity of various parts of the cortex, which is reflected in the characteristics of patterns of brain bioelectrical activity.

Keywords: sports training, cognitive abilities, electroencephalography.