

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.2.8>

УДК: 612.821

Тип статьи: Оригинальное исследование / Original article



## Пилотное исследование по оценке эффективности психокорригирующих методов с использованием ЭЭГ-тренинга и очков виртуальной реальности у спортсменов, участвующих в экстремальных видах спорта

*В.И. Пустовойт<sup>1,\*</sup>, С.Е. Назарян<sup>1</sup>, Е.Я. Адоева<sup>2</sup>, М.С. Ключников<sup>1</sup>, Н.А. Кириченко<sup>1</sup>, А.С. Самойлов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> ФГБУ «Государственный научный центр РФ – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Цель исследования:** оценить эффективность психокоррекции, основанной на принципе методов саморегуляции спортсменов.

**Материалы и методы:** эффективность оценивали у 104 спортсменов мужского пола, у которых при обследовании методом электроэнцефалографии (ЭЭГ) установлен как удовлетворительный, так и неудовлетворительный уровни психоэмоционального состояния. Испытуемые были рандомизированы в три группы психокоррекции: контрольную, ЭЭГ-тренинг и VR-терапия. Математико-статистическую обработку осуществляли в Statistica 7.

**Результаты:** средние значения индекса выраженности волн (ИВВ) после психологической коррекции с использованием методов ЭЭГ-тренинга и VR-терапии показали положительную ЭЭГ-динамику у спортсменов второй группы (ЭЭГ-тренинг) — 65,6 % (21) и третьей группы (VR-терапия) — 73,8% (31) обследуемых соответственно. Тогда как в контрольной группе, без процедур психокоррекции, регистрировали самовосстановление у 9 (30 %) спортсменов.

**Заключение:** количественный критерий ИВВ является универсальным информативным показателем функциональной активности головного мозга для оценки эффективности проводимой психокоррекции, направленной на оптимизацию психоэмоционального состояния. Психокоррекция спортсменов методами ЭЭГ-тренинга и VR-терапии обеспечивает эффективность в 73,8 и 65,6 % случаев, что значительно смягчает предстартовое напряжение вследствие уменьшения тревожности и восстановления психоэмоционального состояния организма до оптимального уровня за счет вовлечения психологического резерва.

**Ключевые слова:** спортсмены, экстремальные виды спорта, психоэмоциональное состояние, электроэнцефалография, психокоррекция

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Пустовойт В.И., Назарян С.Е., Адоева Е.Я., Ключников М.С., Кириченко Н.А., Самойлов А.С. Пилотное исследование по оценке эффективности психокорригирующих методов с использованием ЭЭГ-тренинга и очков виртуальной реальности у спортсменов, участвующих в экстремальных видах спорта. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2021;11(2):67–75. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.2.8>

Поступила в редакцию: 31.05.2021

Принята к публикации: 27.07.2021

Online first: 05.08.2021

Опубликована: 10.08.2021

\* Автор, ответственный за переписку

## Pilot study on the evaluation of the effectiveness of psychocorrection methods that include EEG-training and VR headset in athletes involved in extreme kinds of sports

*Vasiliy I. Pustovoit<sup>1,\*</sup>, Svetlana E. Nazaryan<sup>1</sup>, Elena Ya. Adoeva<sup>2</sup>, Mikhail S. Klyuchnikov<sup>1</sup>, Nikolay A. Kirichenco<sup>1</sup>, Aleksandr S. Samoilov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Russian State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

<sup>2</sup> S.M. Kirov Military Medical Academy, Saint-Petersburg, Russia

## ABSTRACT

**Objective:** to evaluate the effectiveness of psychocorrection based on the methods of self-regulation in athletes.

**Materials and methods:** the effectiveness was evaluated on 104 male athletes who had an optimal level of psychoemotional state of the body during a background examination by electroencephalography (EEG). The subjects were randomly assigned to three groups of psychocorrection: control, EEG-training, and VR-therapy. Mathematical and statistical processing was carried out in Statistica 7.

**Results:** the average values of the wave intensity index (WII) after psychological correction using the following methods: EEG-training and VR-therapy showed positive EEG dynamics in athletes of the second group (EEG-training) 65,6 % (21) and the third group (Vr-therapy) 73,8 % (31) of the subjects, respectively. Whereas in the control group, self-healing was recorded in 9 (30 %) athletes without psychocorrection procedures.

**Conclusion:** the quantitative criterion of WII is a universal informative indicator of the functional activity of the brain for evaluating the effectiveness of psychocorrection aimed at optimizing the psychoemotional state. Psychocorrection of athletes using EEG-training and VR-therapy provides efficiency in 73.8 and 65.6 % of cases, which significantly softens pre-start tension as a result of reducing anxiety and restoring the psychoemotional state of the body to an optimal level by involving the psychological reserve.

**Keywords:** athletes, extreme sports, psychoemotional state, electroencephalography, psychocorrection

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Pustovoit V.I., Nazaryan S.E., Adoeva E.Ya., Klyuchnikov M.S., Kirichenko N.A., Samoilov A.S. Pilot study on the evaluation of the effectiveness of psychocorrection methods that include EEG-training and VR headset in athletes involved in extreme kinds of sports. *Sportivnaya medicina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2021;11(2):67–75 (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.2.8>

**Received:** 31 May 2021

**Accepted:** 27 July 2021

**Online first:** 5 August 2021

**Published:** 10 August 2021

\* Corresponding author

## 1. Введение

Ухудшение психоэмоционального состояния у спортсменов, принимающих участие в экстремальных видах спорта, до критического уровня является одним из основных компонентов, приводящих к профессиональной дезадаптации, а в сочетании с экзогенными факторами приводит не только к снижению функционального состояния организма, но и к дисбалансу иммунной системы и ослаблению механизмов иммунной защиты [1–7].

При достижении высоких показателей в спорте ситуация часто приобретает стрессовый характер и сопровождается значительным эмоциональным и психологическим напряжением, что приводит к быстрому истощению функциональных резервов организма и, как следствие, к срыву адаптации. На данный момент хорошо изучены механизмы реагирования организма спортсменов на острый стресс, в результате которого в кровеносное русло немедленно выбрасываются биологически активные вещества, приводящие к повышению мобилизации [9, 10]. В литературе имеются многочисленные данные о влиянии психоэмоционального состояния на организм, но при этом отсутствуют сведения об эффективности мер психокоррекции спортсменов. Длительное психоэмоциональное напряжение сильно истощает функциональные резервы организма и приводит к трудно корригируемому состоянию дезадаптации атлетов [1–7, 11].

На этапе непосредственной подготовки к главному старту для восстановления психологических и функциональных резервов организма необходимо создать максимум условий для организации отдыха и проведения восстанавливающих психокорректирующих процедур.

По нашему мнению, в литературных источниках недостаточно данных о проблеме электрофизиологического

контроля уровня психоэмоционального состояния спортсменов и его коррекции, что подтверждает практическую потребность в настоящем исследовании. Таким образом, остается актуальным вопрос разработки методов психокоррекции уровня психоэмоционального состояния спортсменов, которые при своевременном применении будут способствовать поддержанию атлета на оптимальном или допустимом уровне функционального состояния организма, в период достижения высоких спортивных результатов.

**Цель исследования:** оценить эффективность психокоррекции, основанной на принципе методов саморегуляции спортсменов.

### Задачи исследования

1. Изучить особенности изменений количественных показателей ЭЭГ в зависимости от уровня психоэмоционального состояния и рассчитать универсальный показатель, характеризующий структурно-функциональное состояние головного мозга у спортсменов экстремальных видов спорта.

2. Сравнить ЭЭГ-динамику функционального состояния головного мозга у спортсменов до и после прохождения курса психокоррекции методами ЭЭГ-тренинга и VR-терапии.

3. Оценить функциональные резервы головного мозга у спортсменов экстремальных видов спорта и его способность к процессам восстановления после курса психокоррекции.

## 2. Материалы и методы

Проведение исследования осуществлялось в ЦСМиР ГНЦ РФ — ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России в 2020 г.

Для разработки основных критериев нормального распределения спектральных мощностей ЭЭГ у спортсменов, участвующих в экстремальных видах спорта,

были использованы ЭЭГ из базы предыдущих исследований ( $n = 925$ ) за 2018–2020 гг. спортивного центра ГНЦ РФ — ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России [1].

Нами были отобраны 135 спортсменов экстремальных видов спорта, у которых на ЭЭГ было диагностировано удовлетворительное и неудовлетворительное психоэмоциональное состояние [1]. Эти спортсмены были случайно распределены в три группы по 45 человек на основе сгенерированной рандомизационной таблицы. По различным причинам из дальнейшего наблюдения выбыл 31 спортсмен, остальные продолжили участие в соответствии с распределением. Завершили исследование и выполнили все процедуры в соответствии с протоколом все 104 спортсмена.

Первая, контрольная группа (control group) состояла из 30 человек, средний возраст  $32,1 \pm 6,6$  года. Психокоррекцию неудовлетворительного и удовлетворительного психоэмоционального состояния у данных спортсменов не проводили.

Вторая, опытная группа (BFB) состояла из 32 человек, средний возраст  $31,2 \pm 5,6$  года. Психокоррекцию неудовлетворительного и удовлетворительного психоэмоционального состояния у этих спортсменов проводили с помощью программы функционального биоуправления с биологической обратной связью «ЭЭГ-тренинг». Методика саморегуляции осуществлялась в соответствии с программой ЭЭГ-тренинг по параметрам функциональной асимметрии мозга для спортсменов (4 ЭЭГ) с целью формирования оптимального психоэмоционального состояния организма [12].

Третья, опытная группа (Vr) составила 42 человека, средний возраст  $29,8 \pm 4,8$  года. Психокоррекцию неудовлетворительного и удовлетворительного психоэмоционального состояния у данных спортсменов проводили при помощи программы психокоррекции в виртуальной реальности «VR-отдых 1.0». Воздействие производилось психологической методикой саморегуляции VR-терапии с целью восстановления психоэмоционального состояния спортсменов при умеренно выраженной психоневротической симптоматике, а также для быстрого снятия утомления и эмоционального напряжения [13–16].

Показатели общего уровня психоэмоционального состояния организма оценивали с применением спектрального анализа по результатам обследования способом электрофизиологического контроля до и после проведения курса психокорректирующих процедур (ЭЭГ-тренинг и VR-терапия). Спортсменам экстремальных видов спорта проводилась запись в 19 отведениях ЭЭГ до начала курса ЭЭГ-тренинга и VR-терапии и после первых 5 сеансов. Электроды располагались в соответствии с международной системой 10–20 на приборе «Энцефалан ЭЭГ-19/26» (ООО НПКиФ «Медиком», РФ) [12]. В качестве референта использовались ипсилатеральные ушные электроды. Фоновую запись ЭЭГ с закрытыми глазами в оптимальном психоэмоциональном состоянии организма регистрировали в течение 5 минут

при прохождении углубленного медицинского обследования.

Перед началом психокорректирующих процедур ЭЭГ-тренинга и VR-терапии вычисляли в 19 отведениях усредненное значение спектров мощности ЭЭГ во всех диапазонах, индивидуально у каждого спортсмена. Для получения достоверных данных перед проведением спектрального анализа раскладывали сигнал на эмпирические моды и устраняли артефакты, вызванные движением глаз, мышечной активностью и сердечным ритмом. После проведения 5 сеансов ЭЭГ-тренинга и VR-терапии повторно записывали 19-канальную ЭЭГ, после чего повторно проводили спектральный анализ 5-минутного отрезка ЭЭГ.

Для оценки эффективности психокоррекции по ИВВ определяли усредненное значение мощности спектров ЭЭГ во всех диапазонах по формуле:  $(\alpha_2 + \beta_1 + \beta_2) / (\delta_1 + \delta_2 + \theta)$  до и после первых пяти процедур ЭЭГ-тренинга и VR-терапии.

По итогам вычислений определяли отношение  $3(\alpha_2 + \beta_1 + \beta_2) / (\delta_1 + \delta_2 + \theta) / 2(\alpha_2 + \beta_1 + \beta_2) / (\delta_1 + \delta_2 + \theta)$ , где предполагалось, что итоговое значение будет отражать наличие или отсутствие первичного эффекта от ЭЭГ-тренинга и VR-терапии исходя из особенностей индивидуальных психоэмоциональных резервов головного мозга до и после курса психокорректирующих процедур, а  $2(\alpha_2 + \beta_1 + \beta_2) / (\delta_1 + \delta_2 + \theta)$  — ИВВ перед началом проведения процедур.

Для обработки результатов использовали программу Statistica версии 7,0 (StatSoft Inc, США). Во всех расчетах использовали уровень значимости  $p < 0,05$ . Предварительно проводили анализ на нормальное распределение по критерию Лилиефорса и Шапиро — Уилка. В связи с ненормальным распределением количественных показателей в выборке результаты исследования представлены медианой с указанием нижнего и верхнего квартилей. При математическом анализе использовали оценку статистической значимости различий количественных показателей в независимых выборках по  $U$ -критерию Манна — Уитни; оценку степени влияния качественного фактора на дисперсию количественных показателей с использованием дисперсионного анализа ANOVA [17].

### 3. Результаты исследования и их обсуждение

Обследование испытуемых проводилось методом ЭЭГ с последующим индивидуальным расчетом усредненных значений мощности спектров ИВВ для подтверждения снижения функциональной активности головного мозга. Так, в соревновательный период регистрировали наиболее низкие значения ИВВ по сравнению с оптимальным психоэмоциональным состоянием спортсменов в подготовительном периоде (табл. 1).

Проведение психологической коррекции с использованием методов ЭЭГ-тренинга и VR-терапии показало значительное снижение функционального напряжения

Таблица 1

Показатели расчетных значений ИВВ на основании данных ЭЭГ в трех группах спортсменов, участвующих в экстремальных видах спорта

Table 1

Indicators of calculated values of index of the severity of the waves based on EEG data in three groups of athletes participating in extreme sports

Диапазоны ритмов ЭЭГ / EEG rhythm ranges	Контрольная группа / Control group	BFB-группа / BFB group	Vr-группа / Vr group
	Индексы, % (M [Q1-Q3])		
ИВВ фон / WII background	83,5 [81,5-85,4]	82,7 [81,1-84,5]	82,1 [81,0-83,3]
ИВВ в период соревнований / WII during competition period	65,2 [62,1-68,3]	63,2 [60,4-66,0]	62,0 [59,0-64,7]

Примечание: [Q1-Q3] — непараметрическая описательная статистика (ненормальное распределение), M — медиана, Q1 — нижний квартиль (25 %), Q3 — верхний квартиль (75 %).

Note: [Q1-Q3] — nonparametric descriptive statistics (abnormal distribution), M — median, Q1 — lower quartile (25 %), Q3 — upper quartile (75 %).

регуляторных систем организма спортсменов, принимающих участие в экстремальных видах спорта. Ниже представлены средние значения ИВВ в трех группах спортсменов, где спектральная мощность показана при расчете ИВВ после курса психокоррекции. Средняя спектральная мощность в контрольной, Vr- и BFB группах до психотерапии при расчете ИВВ составила 65,2, 62 и 63,2 %, после терапии — 60,7, 68,4 и 68 % соответственно. Математическая обработка спектральных данных ЭЭГ с расчетом ИВВ показала статистически значимые изменения индексов ( $KW-H(2;104) = 14,7; p = 0,0007; F(2;101) = 8,48; p = 0,0004$ ) контрольной группы с группами BFB и Vr (рис. 1).

В контрольной группе спортсменов, принимающих участие в экстремальных видах спорта, спектральная мощность дельта-ритма была умеренно повышена, тогда как показатели в альфа-диапазоне были в 2,7 раза ниже по сравнению с группами, прошедшими процедуру

психокоррекции (табл. 2). Индекс дельта-ритма в первой группе на 21 и 18 % превышал этот же показатель в группах с коррекцией, а индекс альфа-ритма был на 29 и 23 % ниже по сравнению с BFB- и Vr-группами соответственно (табл. 2).

Для спортсменов, распределенных во вторую и третью группы, после процедур психокоррекции в 65,6 % ( $n = 32$ , BFB) и 73,8 % ( $n = 42$ , Vr) случаев наблюдали ожидаемую электрофизиологическую динамику в виде нарастания мощности спектров ЭЭГ в альфа- и снижения в дельта-диапазоне, что проявилось в росте индивидуальных ИВВ-спектров мощности ЭЭГ. Средние значения ИВВ спортсменов второй группы (BFB) с положительной электрофизиологической динамикой выросли у 21 (65,6 %), а третьей группы (Vr) — у 31 (73,8 %) испытуемого соответственно. Тогда как в контрольной группе, без процедур психокоррекции, регистрировали самовосстановление у 9 (30 %) спортсменов, а в 70 % случаев наблюдали обратную динамику индивидуальных ИВВ-расчетов спектральных показателей мощности ЭЭГ, что было обусловлено преобладанием роста мощности спектров в дельта-диапазоне и умеренным снижением мощности спектров в альфа-диапазоне.

Учитывая, что целью коррекции является снижение психоэмоционального напряжения спортсменов, в нашем исследовании мы выбрали соотношение спектров мощности ЭЭГ во всех диапазонах ИВВ. Это предоставило возможность уточнить индивидуальные физиологические особенности организма спортсменов с ожидаемой ЭЭГ-реакцией (73,8 и 65,6 % случаев) и с парадоксальной ЭЭГ-реакцией (26,2 и 34,4 % случаев) при психокоррекции методами VR-терапии ( $KW-H(2;30) = 21,27; p = 0,0000; F(2;27) = 55,4284; p = 0,0000$ ) и ЭЭГ-тренингом ( $KW-H(2;33) = 22,73; p = 0,0000; F(2;30) = 43,95; p = 0,0000$ ) соответственно (рис. 2).

Математическая обработка спектральных данных ИВВ-результатов в трех исследованиях показала

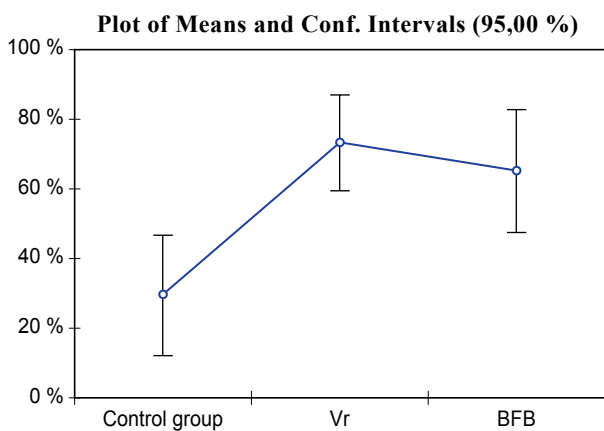


Рис. 1. Характеристика индексов выраженности волн ЭЭГ в испытуемых группах: контрольная, Vr и BFB

Fig. 1. Characteristics of EEG wave intensity indices in the test groups: control group, Vr and BFB



Таблица 2

Характеристика спектрально-временных данных ЭЭГ в альфа- и дельта-диапазоне в трех подгруппах спортсменов после психокорригирующих процедур

Table 2

Characteristics of spectral-temporal EEG data in the alpha and Delta ranges in three subgroups of athletes after psychocorrective procedures

Диапазоны ритмов ЭЭГ / EEG rhythm ranges	Контрольная группа / Control group	VFB-группа / VFB group	Vr-группа / Vr group
	Спектральная мощность, мкВ <sup>2</sup> /Гц / Spectral power, μV <sup>2</sup> / Hz (M [Q1-Q3])		
Альфа М / Alpha M	28 [21-36]	76 [45-108]	76 [52-100]
Дельта 1 М / Delta M	60 [42-78]	38 [31-45]	49 [40-58]
	Индексы, % / Indices,% (M [Q1-Q3])		
Альфа U / Alpha U	27 [23-30]	38 [34-42]	35 [31-40]
Дельта 1 U / Delta 1 U	33 [29-35]	26 [24-30]	27 [24-29]

Примечание: [Q1-Q3] — непараметрическая описательная статистика (ненормальное распределение), М — медиана, Q1 — нижний квартиль (25 %), Q3 — верхний квартиль (75 %).

Note: [Q1-Q3] — nonparametric descriptive statistics (abnormal distribution), M — median, Q1 — lower quartile (25 %), Q3 — upper quartile (75 %).

статистически значимые изменения индексов — только в контрольной группе (KW-H(2;63) = 46,51;  $p = 0,0000$ ; F(2;60) = 78,81;  $p = 0,0000$ ), что подтверждает отрицательную динамику психоэмоционального состояния,

тогда как в группах проходящих психокоррекцию достоверность различий между оценками перед началом и после проведения коррекции отсутствовала ( $p < 0,05$ ).

Анализ парадоксальной реакции у спортсменов, принимающих участие в экстремальных видах спорта, показал существенное снижение выраженности отрицательной динамики в ответ на психокоррекцию и замедление роста мощности в частоте доминирующего дельта-ритма по сравнению с группой контроля (рис. 2).

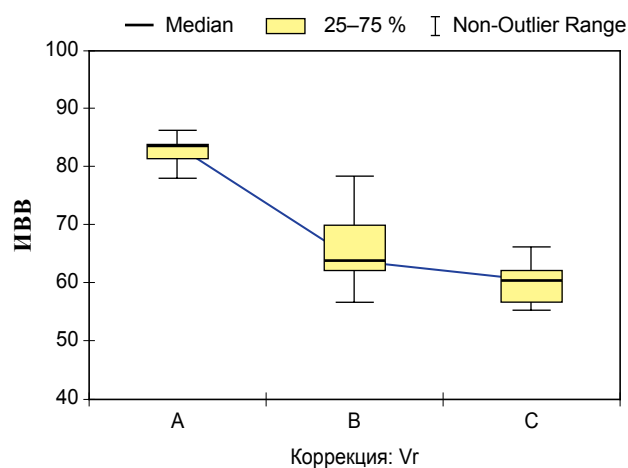
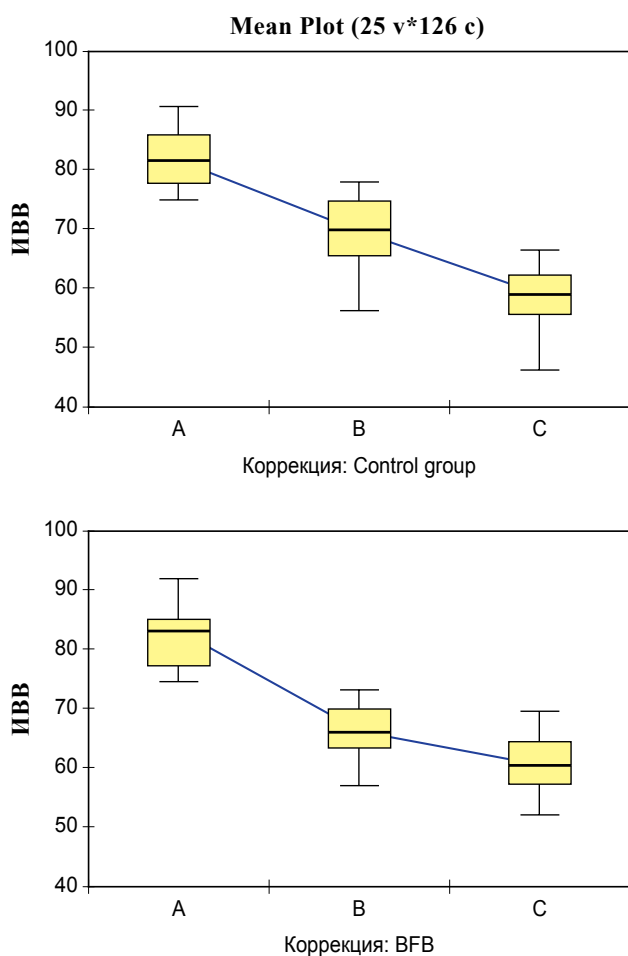


Рис. 2. Характеристика индексов выраженности волн ЭЭГ с отсутствием эффективной психокоррекции в испытуемых группах (контрольная, VFB и Vr). А — фоновое обследование; В — обследование перед началом коррекции; С — после курса психокоррекции

Fig. 2. Characteristics of EEG wave severity indices with no effective psychocorrection in the test groups (control group, VFB and Vr). A — background examination; B — examination before the start of correction; C — after the course of psychocorrection

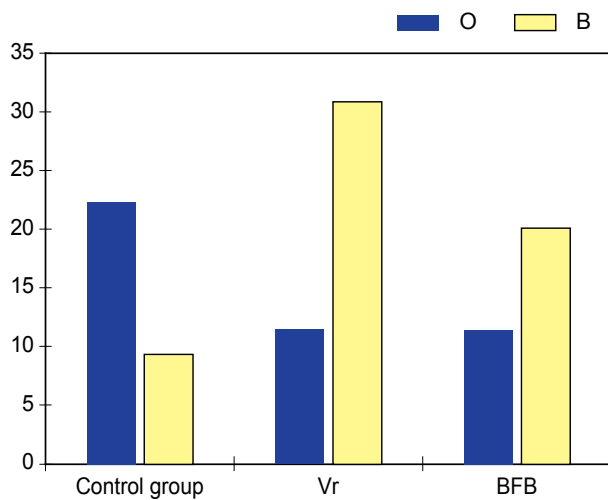


Рис. 3. Распределение частоты ответов (О — отрицательный, В — положительный) на психокоррекцию в исследуемых группах: контрольная, Vr и BFB ( $p < 0,05$ )

Fig. 3. Responses rate distribution (O — negative, B — positive) to psychocorrection in the study groups: control group, BFB and Vr ( $p < 0.05$ )

Изменение характеристики альфа- и дельта-ритма в динамике дает возможность рассмотреть процессы, происходящие в головном мозге и связанные с психоэмоциональным напряжением. Однако определение общих критериев абсолютной и относительной спектральной мощности ритмов ЭЭГ вызывает сложность, так как альфа- и дельта-ритм в значительной мере характеризуются индивидуальными особенностями, в связи с чем мы использовали соотношения мощности ритмов ЭЭГ в различных диапазонах [18, 19].

Результаты исследования показали превосходство в эффективности (8,2 %) при коррекции методом VR-терапии (73,8 %) в сравнении с ЭЭГ-тренингом (65,6 %) по итогам исследования до и после психокоррекции с помощью косвенного электрофизиологического ИВВ-критерия, характеризующего активность центральной нервной системы, в виде суммарной биоэлектрической активности (рис. 3).

Спортсмены с ожидаемой электрофизиологической реакцией ответили на психокоррекцию (VR-терапия и ЭЭГ-тренинг) ростом мощности спектров ЭЭГ в частоте доминирующего альфа-ритма.

Парадоксальная электрофизиологическая реакция на проводимую терапию позволила выявить спортсменов, не подверженных психокоррекции. Возможно, это связано с длительностью нахождения атлетов в психоэмоциональном напряжении и поздним проведением процедур ЭЭГ-тренинга и VR-терапии. Нам представляется, что проведение психокорректирующих процедур тем эффективнее, чем раньше они начаты. Данные спортсмены не смогли ответить на психокоррекцию ростом мощности в частоте доминирующего альфа-ритма. В настоящее время известно, что дельта-ритм

регистрируется при увеличении активности ЦНС в условиях психоэмоционального напряжения [19]. В связи с этим некоторые авторы рассматривают неокортикальный дельта-ритм как отражение возбуждения состояний ЦНС, а генерализованную ритмическую дельта-активность — как свидетельство психоэмоционального напряжения функций коры и подчинения ее активности древним лимбическим системам мозга [19].

Несмотря на наличие парадоксальной электрофизиологической реакции спектральной мощности ЭЭГ в дельта-диапазоне, статистически достоверных различий индексов ЭЭГ в дельта- и альфа-диапазоне после курса психокоррекции методами ЭЭГ-тренинга и VR-терапии в подгруппах спортсменов выявлено не было.

При сравнении групп, проходящих психокоррекцию (BFB, Vr), и контрольной зарегистрировали статистически достоверные ( $p = 0,00003$ ) различия индексов ЭЭГ в альфа- и дельта-диапазоне и соотношения ИВВ до и после курса психокоррекции.

Таким образом, в ходе проведенного исследования установлено, что при расчете показателя ИВВ спектров ЭЭГ возможно определить особенности психоэмоционального напряжения и оценить реактивность организма спортсменов на психокорректирующие процедуры.

В результате курса психокоррекции, ассоциированного с ростом мощности спектров ЭЭГ в частоте доминирующего альфа-ритма, у 70,3 % спортсменов регистрируется положительная динамика с улучшением психоэмоционального состояния. Благоприятное развитие соотношения индексов ЭЭГ (ИВВ) свидетельствует о вовлечении церебрального резерва за счет перераспределения очагов возбуждения в головном мозге. Наличие парадоксальной реакции в виде отсутствия значимого роста спектральной мощности ИВВ позволяет выявить спортсменов, находящихся длительное время в психоэмоциональном напряжении.

#### 4. Выводы

1. Количественный критерий индекса выраженности волн (ИВВ) является универсальным информативным показателем функциональной активности головного мозга для оценки эффективности проводимой психокоррекции, направленной на оптимизацию психоэмоционального состояния.

2. Психокоррекция спортсменов методами ЭЭГ-тренинга и VR-терапии обеспечивает эффективность в 73,8 и 65,6 % случаев, что значительно смягчает предстартовое напряжение вследствие уменьшения тревожности и восстановления психоэмоционального состояния организма до оптимального уровня за счет вовлечения психологического резерва по сравнению с контрольной группой.

3. Парадоксальная реакция регистрируется у 29,7 % спортсменов и косвенно свидетельствует о снижении функционального резерва головного мозга вследствие хронического психоэмоционального напряжения.

**Вклад авторов:**

**Пустовойт Василий Игоревич** — концепция и дизайн исследования, подготовка текста статьи, редактирование.

**Назарян Светлана Евгеньевна** — сбор и обработка материала.

**Адоева Елена Яковлевна** — сбор и обработка материала, статистическая обработка данных.

**Ключников Михаил Сергеевич** — подготовка текста статьи, сбор и обработка материала, статистическая обработка данных.

**Кириченко Николай Андреевич** — подготовка текста статьи, сбор и обработка материала.

**Самойлов Александр Сергеевич** — редактирование.

**Authors' contributions:**

**Vasily I. Pustovoit** — study design and concept, manuscript preparation, editing.

**Svetlana E. Nazaryan** — collection and processing of the material.

**Elena Ya. Adoeva** — collection and processing of the material, statistical processing of the data.

**Mikhail S. Klyuchnikov** — manuscript preparation, collection and processing of the material, statistical processing of the data.

**Nikolay A. Kirichenco** — manuscript preparation, collection and processing of the material.

**Aleksandr S. Samoilov** — editing.

**Список литературы**

1. Пустовойт В.И., Самойлов А.С., Назарян С.Е., Евсеев Р.А. Электроэнцефалографические особенности спектральных характеристик психоэмоционального состояния спортсменов, экстремальных видов спорта. Лечебная физкультура и спортивная медицина. 2020;(1):58–65.
2. Ivarsson A., Johnson U., Andersen M.B., Tranaeus U., Stenling A., Lindwall M. Psychosocial factors and sport injuries: meta-analyses for prediction and prevention. Sports Med. 2017;47(2):353–365. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0578-x>
3. Ключников М.С., Разумец Е.И. Мониторинг психофизиологического состояния спортсменов на УТС. Спортивный психолог. 2016;(4(43)):16–21.
4. Li C., Zhu Y., Zhang M., Gustafsson H., Chen T. Mindfulness and athlete burnout: a systematic review and meta-analysis. Int. J. Environ. Res. Public Health. 2018;16(3):449. doi: 10.3390/ijerph16030449
5. Liberzon I., Abelson J.L. Context Processing And The Neurobiology Of Post-Traumatic Stress Disorder. Neuron. 2016;92(1):14–30. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2016.09.039>
6. Mehrsafar A.H., Serrano Rosa M.A., Moghadam Zadeh A., Gazerani P. Stress, Professional Lifestyle, and Telomere Biology in Elite Athletes: A Growing Trend in Psychophysiology of Sport. Front. Psychol. 2020;11:567214. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.567214>
7. Nixdorf I., Beckmann J., Nixdorf R. Psychological Predictors for Depression and Burnout Among German Junior Elite Athletes. Front. Psychol. 2020;11:601. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00601>
8. Singh H., Conroy D.E. Systematic review of stress-related injury vulnerability in athletic and occupational contexts. Psychol. Sport Exerc. 2017;33:37–44. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2017.08.001>
9. Agorastos A., Nicolaides N.C., Bozikas V.P., Chrousos G.P., Pervanidou P. Multilevel interactions of stress and circadian system: implications for traumatic stress. Front Psychiatry. 2020;10:1003. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01003>
10. Mehrsafar A.H., Serrano Rosa M.A., Moghadam Zadeh A., Gazerani P. Stress, Professional Lifestyle, and Telomere Biology in Elite Athletes: A Growing Trend in Psychophysiology of Sport. Front. Psychol. 2020;11:567214. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.567214>
11. Пустовойт В.И., Самойлов А.С., Никонов Р.В. Особенности инфекционной патологии у спортсменов-дайверов в сложных климатических условиях. Спортивная медицина: наука и практика. 2020;(1):67–75.

**References**

1. Pustovoit V.I., Samoilov A.S., Nazaryan S.E., Evseev R.A. Electroencephalographic features of spectral characteristics of the psychoemotional state of athletes, extreme sports. Lechebnaya fizkul'tura i sportivnaya meditsina [Therapeutic physical culture and sports medicine]. 2020;(1):58–65 (In Russ.).
2. Ivarsson A., Johnson U., Andersen M.B., Tranaeus U., Stenling A., Lindwall M. Psychosocial factors and sport injuries: meta-analyses for prediction and prevention. Sports Med. 2017;47(2):353–365. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0578-x>
3. Klyuchnikov M.S., Razumets E.I. Monitoring of the functional and psycho-physiological state of athletes at the training center. Sportivnyi psikholog = Sports Psychologist. 2016;(4):16–21 (In Russ.).
4. Li C., Zhu Y., Zhang M., Gustafsson H., Chen T. Mindfulness and athlete burnout: a systematic review and meta-analysis. Int. J. Environ. Res. Public Health. 2018;16(3):449. doi: 10.3390/ijerph16030449
5. Liberzon I., Abelson J.L. Context Processing And The Neurobiology Of Post-Traumatic Stress Disorder. Neuron. 2016;92(1):14–30. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2016.09.039>
6. Mehrsafar A.H., Serrano Rosa M.A., Moghadam Zadeh A., Gazerani P. Stress, Professional Lifestyle, and Telomere Biology in Elite Athletes: A Growing Trend in Psychophysiology of Sport. Front. Psychol. 2020;11:567214. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.567214>
7. Nixdorf I., Beckmann J., Nixdorf R. Psychological Predictors for Depression and Burnout Among German Junior Elite Athletes. Front. Psychol. 2020;11:601. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00601>
8. Singh H., Conroy D.E. Systematic review of stress-related injury vulnerability in athletic and occupational contexts. Psychol. Sport Exerc. 2017;33:37–44. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2017.08.001>
9. Agorastos A., Nicolaides N.C., Bozikas V.P., Chrousos G.P., Pervanidou P. Multilevel interactions of stress and circadian system: implications for traumatic stress. Front Psychiatry. 2020;10:1003. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01003>
10. Mehrsafar A.H., Serrano Rosa M.A., Moghadam Zadeh A., Gazerani P. Stress, Professional Lifestyle, and Telomere Biology in Elite Athletes: A Growing Trend in Psychophysiology of Sport. Front. Psychol. 2020;11:567214. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.567214>
11. Pustovoit V.I., Samoilov A.S., Nikonov R.V. Features of infectious pathology in athletes-divers in difficult climatic conditions. Sportivnaya meditsina: nauka i praktika = Sports medicine: science and practice. 2020;(1):67–75 (In Russ.).

12. Медицинское оборудование для диагностики, нейрофизиологии и реабилитации «Энцефалан ЭЭГ-19/26». Медиком МТД [Интернет]. Режим доступа: <http://medicom-mtd.com/> (дата обращения 29.10.2020).
13. **Balcombe L., De Leo D.** Psychological Screening and Tracking of Athletes and Digital Mental Health Solutions in a Hybrid Model of Care: Mini Review. *JMIR Form. Res.* 2020;4(12):22755. <https://doi.org/10.2196/22755>
14. **Frewen P., Mistry D., Zhu J., Kielt T., Wekerle C., Lanius R.A., Jetl R.** Proof of Concept of an Eclectic, Integrative Therapeutic Approach to Mental Health and Well-Being Through Virtual Reality Technology. *Front Psychol.* 2020;11:858. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00858>
15. **Krohn S., Tromp J., Quinque E.M., Belger J., Klotzsche F., Rekers S., et al.** Multidimensional Evaluation of Virtual Reality Paradigms in Clinical Neuropsychology: Application of the VR-Check Framework. *J. Med. Internet Res.* 2020;22(4):e16724. <https://doi.org/10.2196/16724>
16. **Teo W.P., Muthalib M., Yamin S., Hendy A.M., Bramstedt K., Kotsopoulos E., et al.** Does a Combination of Virtual Reality, Neuromodulation and Neuroimaging Provide a Comprehensive Platform for Neurorehabilitation? - A Narrative Review of the Literature. *Front. Hum. Neurosci.* 2016;10:284. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00284>
17. Электронный учебник по статистике «StatSoft» [Интернет]. Режим доступа: <http://statsoft.ru/home/textbook/default.htm> (дата обращения 08.11.2020).
18. **Зенков Л.Р.** Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии): руководство для врачей. Москва: МЕДпрессинформ; 2018. 360 с.
19. **Furtunato A.M.B., Lobão-Soares B., Tort A.B.L., Belchior H.** Specific Increase of Hippocampal Delta Oscillations Across Consecutive Treadmill Runs. *Front. Behav. Neurosci.* 2020;14:101. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2020.00101>
12. Medical equipment for diagnostics, neurophysiology and rehabilitation “Encephalan EEG-19/26”. *Medicom MTD* [Internet]. Available at: <http://medicom-mtd.com/> (accessed 29.10.2020). (In Russ.).
13. **Balcombe L., De Leo D.** Psychological Screening and Tracking of Athletes and Digital Mental Health Solutions in a Hybrid Model of Care: Mini Review. *JMIR Form. Res.* 2020;4(12):22755. <https://doi.org/10.2196/22755>
14. **Frewen P., Mistry D., Zhu J., Kielt T., Wekerle C., Lanius R.A., Jetl R.** Proof of Concept of an Eclectic, Integrative Therapeutic Approach to Mental Health and Well-Being Through Virtual Reality Technology. *Front Psychol.* 2020;11:858. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00858>
15. **Krohn S., Tromp J., Quinque E.M., Belger J., Klotzsche F., Rekers S., et al.** Multidimensional Evaluation of Virtual Reality Paradigms in Clinical Neuropsychology: Application of the VR-Check Framework. *J. Med. Internet Res.* 2020;22(4):e16724. <https://doi.org/10.2196/16724>
16. **Teo W.P., Muthalib M., Yamin S., Hendy A.M., Bramstedt K., Kotsopoulos E., et al.** Does a Combination of Virtual Reality, Neuromodulation and Neuroimaging Provide a Comprehensive Platform for Neurorehabilitation? - A Narrative Review of the Literature. *Front. Hum. Neurosci.* 2016;10:284. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00284>
17. Electronic textbook on statistics “StatSoft” [Internet]. Available at: <http://statsoft.ru/home/textbook/default.htm> (accessed at 08 November 2020). (In Russ.).
18. **Zenkov L.R.** Clinical electroencephalography (with elements of epileptology): guide for doctors. Moscow: Medpressinform Publ.; 2018. 360 p. (In Russ.).
19. **Furtunato A.M.B., Lobão-Soares B., Tort A.B.L., Belchior H.** Specific Increase of Hippocampal Delta Oscillations Across Consecutive Treadmill Runs. *Front. Behav. Neurosci.* 2020;14:101. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2020.00101>

#### Информация об авторах:

**Пустовойт Василий Игоревич\***, к.м.н., старший научный сотрудник лаборатории больших данных и прецизионной спортивной медицины ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, 123098, Россия, Москва, ул. Маршала Новикова, 23. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3396-5813> ([vipust@yandex.ru](mailto:vipust@yandex.ru))

**Назарян Светлана Евгеньевна**, заведующая отделением спортивной психологии ЦСМиР ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, 123098, Россия, Москва, ул. Маршала Новикова, 23. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6199-872X> ([sveta-nazaryan@yandex.ru](mailto:sveta-nazaryan@yandex.ru))

**Адоева Елена Яковлевна**, к.б.н., доцент, доцент кафедры биологии ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, 194044, Россия, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5156-4242> ([adoeva@mail.ru](mailto:adoeva@mail.ru))

**Ключников Михаил Сергеевич**, к.б.н., заведующий лабораторией больших данных и прецизионной спортивной медицины ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, 123098, Россия, Москва, ул. Маршала Новикова, 23. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8308-4278> ([kljuchnikov@me.com](mailto:kljuchnikov@me.com))

**Кириченко Николай Андреевич**, ординатор кафедры восстановительной медицины, спортивной медицины, курортологии и физиотерапии с курсом сестринского дела МБУ ИНО «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, 123098, Россия, Москва, ул. Маршала Новикова, 23. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7558-2197> ([K9160771275@yandex.ru](mailto:K9160771275@yandex.ru))

**Самойлов Александр Сергеевич**, д.м.н., член-корреспондент Российской академии наук, профессор, генеральный директор ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, 123098, Россия, Москва, ул. Маршала Новикова, 23. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9241-7238> ([dircsm1@aim.com](mailto:dircsm1@aim.com))



**Information about the authors:**

**Vasily I. Pustovoi**\*, M.D., Ph.D. (Medicine), Senior Researcher, Laboratory of Big Data and Precision Sports Medicine of Russian State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 23, Marshal Novikov str., Moscow, 123098, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3396-5813> ([vipust@yandex.ru](mailto:vipust@yandex.ru))

**Svetlana E. Nazaryan**, Head of the Department of Sports Psychology of Russian State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 23, Marshal Novikov str., Moscow, 123098, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6199-872X> ([sveta-nazaryan@yandex.ru](mailto:sveta-nazaryan@yandex.ru))

**Elena Ya. Adoeva**, Ph.D. (Biology), Associate Professor of the Department of Biology of the S.M. Kirov Military Medical Academy, 6, Academician Lebedev str., St. Petersburg, 194044, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5156-4242> ([adoeva@mail.ru](mailto:adoeva@mail.ru))

**Mikhail S. Klyuchnikov**, Ph.D. (Biology), Head of the Laboratory of Big Data and Precision Sports Medicine of Russian State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 23, Marshal Novikov str., Moscow, 123098, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8308-4278> ([kljuchnikov@me.com](mailto:kljuchnikov@me.com))

**Nikolay A. Kirichenco**, Resident of the Department of Rehabilitation Medicine, Sports Medicine, Balneology and Physiotherapy with a course of nursing of Russian State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 23, Marshal Novikov str., Moscow, 123098, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7558-2197> ([K9160771275@yandex.ru](mailto:K9160771275@yandex.ru))

**Aleksandr S. Samoilov**, M.D., D.Sc. (Medicine), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, General Director of Russian State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 23, Marshal Novikov str., Moscow, 123098, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9241-7238> ([dircsml1@aim.com](mailto:dircsml1@aim.com))

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author