



## Сердечно-сосудистые эффекты курсового нейробиоправления при различных стратегиях спортивной адаптации: открытое контролируемое исследование

Лунина Н.В.<sup>1,2,\*</sup>, Корягина Ю.В.<sup>2</sup>, Ефименко Н.В.<sup>2</sup>, Тер-Акопов Г.Н.<sup>2</sup>, Нопин С.В.<sup>2</sup>, Ахкубекова Н.К.<sup>2</sup>, Уханова О.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК» (РУС «ГЦОЛИФК»), Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГБУ «Северо-Кавказский Федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», Ессентуки, Россия

### РЕЗЮМЕ

**ВВЕДЕНИЕ.** Нейробиоправление эффективно применяется в клинической практике. Сердечно-сосудистые эффекты (ССЭ) при различных стратегиях спортивной адаптации в курсовом нейробиоправлении по  $\beta$ -ритму головного мозга малоизучены.

**ЦЕЛЬ.** Оценить ССЭ курсового нейробиоправления при различных стратегиях спортивной адаптации.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** В открытом контролируемом исследовании обследовано 1020 мужчин (18–21 год) в подготовительный тренировочный период. Выделены группы по видам спорта и стратегии спортивной адаптации: 1 — циклические ( $n = 387$ ); 2 — скоростно-силовые ( $n = 255$ ); 3 — единоборцы ( $n = 31$ ); 4 — игровые ( $n = 173$ ); 5 — сложно-координационные ( $n = 174$ ). ССЭ оценивались на 10-м сеансе нейробиоправления по  $\beta$ -ритму на АПК «БОСЛАБ» (Россия) при открытых глазах и мышечном расслаблении. Электроэнцефалографические электроды накладывали биполярно в Cz-Fz. Сессии сеанса: графическая (10 минут), игровая (16 минут), где повышали и удерживали уровень  $\beta$ -ритма с биологической обратной связью (БОС). Исследовались показатели: системного давления; сердечной деятельности; периферических сосудов; функциональных изменений сердечно-сосудистой системы (ССС).

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Наряду с повышением внимания в 10-м сеансе выявлены позитивные ССЭ в 1, 3, 4 и 5-й группах с экономизацией деятельности ССС, регламентированные стратегией спортивной адаптации. В 1-й группе ССЭ — как желательный вариант реагирования. Во 2-й группе — неоднозначные гетерохронные ССЭ, с положительной динамикой системного давления и снижением сердечной деятельности, показателей периферических сосудов, индекса сердечно-сосудистого регулирования. Данные эффекты, преимущественно в силовых видах спорта, обусловлены стратегией долговременной спортивной адаптации, сопряженной с явлениями гипоксии и неполным восстановлением затраченных ресурсов организма, создавая феномен незавершенной адаптации. Его манифестация связана с освоением навыка управления  $\beta$ -ритмом, отличного по роду выполнения от занятий со сформированной адаптационной стратегией в процессе многолетней тренировки. К 10-му сеансу в 3-й группе изменения в функционировании мозговых структур сформировали ССЭ, вовлекающие механизмы, поддерживающие системное давление, расцениваемые как оптимальные. В 4-й и 5-й группах оптимизирована деятельность мозговых структур и ССС.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Позитивные ССЭ в группах с различной стратегией спортивной адаптации отразили целесообразность курсового применения БОС-тренинга по  $\beta$ -ритму. Неоднозначные ССЭ в группах скоростно-силовых видов спорта изучаются для модификации технологии нейробиоправления.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** нейробиоправление, БОС-тренинг,  $\beta$ -ритм головного мозга, спортсмены, сердечно-сосудистая система.

**Для цитирования / For citation:** Лунина Н.В., Корягина Ю.В., Ефименко Н.В., Тер-Акопов Г.Н., Нопин С.В., Ахкубекова Н.К., Уханова О.П. Сердечно-сосудистые эффекты курсового нейробиоправления при различных стратегиях спортивной адаптации: открытое контролируемое исследование. Вестник восстановительной медицины. 2024; 23(1):23-29. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-1-23-29> [Lunina N.V., Koryagina Yu.V., Efimenko N.V., Ter-Akopov G.N., Nopin S.V., Akhkubekova N.K., Ukhanova O.P. Cardiovascular Effects of Neurofeedback Course in Various Sports Adaptation Strategies: an Open Controlled Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(1):23-29. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-1-23-29> (In Russ.)]

\* **Для корреспонденции:** Корягина Юлия Владиславовна, E-mail: nauka@skfmba.ru

Статья получена: 18.10.2023  
Статья принята к печати: 28.12.2023  
Статья опубликована: 15.02.2024

# Cardiovascular Effects of Neurofeedback Course in Various Sports Adaptation Strategies: an Open Controlled Study

 Natalya V. Lunina<sup>1,2,\*</sup>,  Yulia V. Koryagina<sup>2</sup>,  Nataliya V. Efimenko<sup>2</sup>,  Gukas N. Ter-Akopov<sup>2</sup>,  
 Sergey V. Nopin<sup>2</sup>,  Nelly K. Akhkubekova<sup>2</sup>,  Olga P. Ukhanova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Russian University of Sports "GTSOLIFK" (RUS "GTSOLIFK"), Moscow, Russia

<sup>2</sup> North Caucasian Federal Research-Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, Russia

## ABSTRACT

**INTRODUCTION.** Neurofeedback is effectively applied in clinical practice. Cardiovascular effects (CVEs) from different sports adaptation strategies in course-based  $\beta$ -rhythm neurofeedback are under-studied.

**AIM.** To evaluate the CVEs of the neurofeedback course under different sports adaptation strategies.

**MATERIALS AND METHODS.** The study included 1020 men (18–21 years) during the preparatory training period. Following groups were formed: 1 — cyclic sports ( $n = 387$ ); 2 — speed-strength sports ( $n = 255$ ); 3 — single combat ( $n = 31$ ); 4 — team sports ( $n = 173$ ); 5 — complex coordination sports ( $n = 174$ ). The CVEs were assessed with the BOSLAB complex (Russia), with eyes open and muscles relaxed. EEG electrodes were applied bipolarly (Cz-Fz). Session types: graphic (10 minutes), game (16 minutes), where the  $\beta$ -rhythm level was increased and maintained. Indices of systemic pressure, cardiac activity; peripheral vessels, functional changes of the cardiovascular system (CVS) were also examined.

**RESULTS AND DISCUSSION.** Along with improved attention, the 10th session revealed positive CVEs in the 1<sup>st</sup>, 3<sup>rd</sup>, 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> groups with CVS economization. 1<sup>st</sup> group: CVEs are a desirable response option. 2<sup>nd</sup> group: ambiguous heterochronic CVEs, with improved systemic pressure and reduced cardiac activity, indices of peripheral vessels, cardiovascular regulation index. These effects, mainly in strength sports, are caused by the long-term sports adaptation strategy, associated with hypoxia and incomplete recovery of the spent resources, causing incomplete adaptation. It is associated with mastering the  $\beta$ -rhythm control skill, different in the nature from the activities with the formed adaptation strategy in the long-term training process. 3<sup>rd</sup> group (10<sup>th</sup> session): changes in the brain structure (BS) function formed CVEs involving mechanisms maintaining systemic pressure, regarded as optimal. 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> groups: optimized BS and CVEs activities.

**CONCLUSION.** The positive CVEs demonstrated expediency of the  $\beta$ -rhythm neurofeedback course. Ambiguous CVEs in groups of speed-strength sports are studied for neurofeedback technology modification.

**KEYWORDS:** neurofeedback, biofeedback training,  $\beta$ -rhythm of the brain, athletes, cardiovascular system, brain structures, restorative effects.

**For citation:** Lunina N.V., Koryagina Yu.V., Efimenko N.V., Ter-Akopov G.N., Nopin S.V., Akhkubekova N.K., Ukhanova O.P. Cardiovascular Effects of the Neurofeedback Course in Various Sports Adaptation Strategies: an Open Controlled Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(1):23–29. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-1-23-29> (In Russ.).

\* **For correspondence:** Yuliya V. Koryagina, E-mail: nauka@skfmmba.ru

**Received:** 18.10.2023

**Accepted:** 28.12.2023

**Published:** 15.02.2024

## ВВЕДЕНИЕ

Нейробиоуправление — технология, основанная на принципах биологической обратной связи (БОС) по электроэнцефалографическим (ЭЭГ) параметрам, эффективно применяется во многих отраслях медицины [1–3], педагогики [4] и в спорте [5–9]. Перспективы применения нейробиоуправления по ритмам головного мозга в восстановительной и спортивной медицине связывают с неинвазивным и нефармакологическим воздействием на организм спортсменов, вызывающим изменения функционального состояния по управляемым параметрам и функциям организма [2, 5–9]. Эффекты воздействия различных факторов на организм спортсменов наиболее полно отражают функционирование сердечно-сосудистой системы (ССС), являющейся одной из основных систем, лимитирующих работоспособность спортсменов [7–13]. Информация о состоянии ССС в ходе курса нейробиоуправления различной продолжительности и направленности дает представление о возможностях его применения у спортсменов различ-

ных видов спорта с целью оптимизации работоспособности и ускорения процессов восстановления.

## ЦЕЛЬ

Оценить влияние курса нейробиоуправления по  $\beta$ -ритму головного мозга на состояние сердечно-сосудистой системы у мужчин-спортсменов с различными стратегиями адаптации к физической деятельности.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа выполнена на базах НИИ Деятельности в экстремальных условиях СибГУФК (г. Омск), ОмГУ им. Ф.М. Достоевского (г. Омск), СибАДИ (г. Омск), РГУФКСМиТ (г. Москва), ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России (г. Эссентуки). Все участники дали информированное добровольное согласие на участие в исследовании в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (WMA Declaration of Helsinki — Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013). Исследование одобрено решением

локального этического комитета ФГБУ СКФНЦ ФМБА России (протокол № 1 от 10.02.2022).

Критерии включения: мужчины, занимающиеся различными видами деятельности (циклическими, ациклическими, игровыми видами спорта); возраст — 18–21 год; подготовительный период тренировочного макроцикла; добровольное согласие на участие в исследовании. Критерии невключения: женщины; лица, не занимающиеся спортивной деятельностью; лица младше 18 лет и старше 21 года. Критерии исключения: отказ от участия в исследовании.

Исследования проведены с участием 1020 спортсменов мужского пола. В зависимости от стратегии адаптации к физической деятельности участники исследования распределены на 5 групп: 1-я группа — спортсмены циклических видов спорта ( $n = 387$ ); 2-я группа — спортсмены скоростно-силовых видов спорта ( $n = 255$ ); 3-я группа — спортсмены-единоборцы ( $n = 31$ ); 4-я группа — спортсмены игровых видов спорта ( $n = 173$ ); 5-я группа — спортсмены сложно-координационных видов спорта ( $n = 174$ ). Всем спортсменам проведен курс нейробиоуправления по  $\beta$ -ритму головного мозга, состоящий из 10 сеансов.

Методика нейробиоуправления по  $\beta$ -ритму головного мозга. Продолжительность сеанса составила 26 минут в условиях активного бодрствования, при открытых глазах и произвольном расслаблении мышц; структура сеанса состояла из двух сессий: графической (10 минут) и игровой (16 минут). ЭЭГ-сигналы регистрировались от электродов при центральном биполярном отведении в точках Fz-Cz, индифферентный электрод крепился к мочке уха. Мышечный тонус регистрировался и контролировался от двух миографических датчиков, прикрепленных в области лба (ПАК «БОСЛАБ», Институт молекулярной биологии и биофизики СО РАНН, Новосибирск, Россия).

Методы исследования. Функциональное состояние ССС оценивалось до и после 10-го сеанса БОС-тренинга по  $\beta$ -ритму головного мозга. Запись показателей производилась на протяжении не менее 5 минут (ПАК «Поли-Спектр», «Нейрософт», Иваново, Россия).

Статистический анализ. Полученные данные обработаны с использованием пакета анализа Statistica 13, нормальность распределения определяли по критерию Шапиро — Уилка, достоверность межгрупповых различий оценивали по t-критерию Стьюдента (для параметрических значений) и t-критерию Вилкоксона (для непараметрических значений). Существенными считали различия при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе сеанса спортсменам давалось задание поиска стратегии подъема и удержания  $\beta$ -ритма головного мозга, транслируемого от ЭЭГ-датчиков на монитор компьютера, при соблюдении условия произвольного мышечного расслабления. Пороговые значения устанавливались таким образом, чтобы они достигали не менее 30 % флюктуаций  $\beta$ -ритма. Успешность результата подкреплялась аудиальной и визуальной обратной связью.

Исследуемые показатели ССС в группах спортсменов на 10-м сеансе БОС-тренинга по  $\beta$ -ритму головного мозга оценивались по блокам показателей, отраженных в рис. 1.

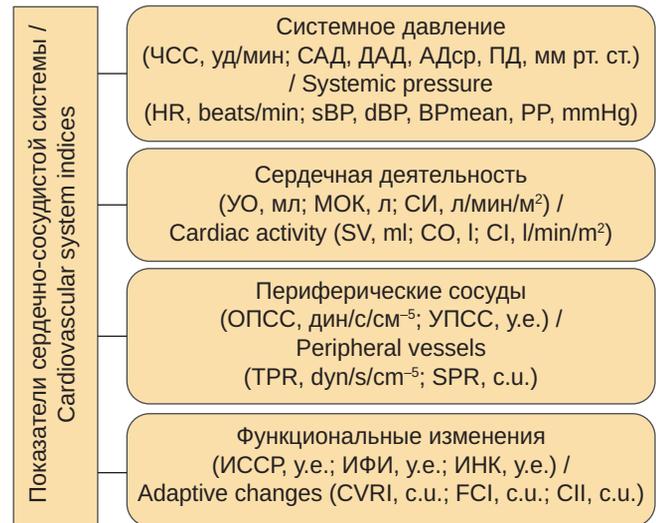


Рис. 1. Дизайн исследования

Fig. 1. Design of the study

**Примечание:** АДср — среднее артериальное давление; ДАД — диастолическое артериальное давление; ИНК — индекс недостаточности кровообращения; ИССР — индекс сердечно-сосудистого реагирования; ИФИ — индекс функциональных изменений; МОК — минутный объем кровообращения; ОПСС — общее периферическое сопротивление сосудов; ПД — пульсовое давление; САД — систолическое артериальное давление; СИ — сердечный индекс; УО — ударный объем кровообращения; УПСС — удельное периферическое сопротивление сосудов; ЧСС — частота сердечных сокращений.

**Note:** ACI — adaptive changes index; BPmean — mean blood pressure; CI — cardiac index; CII — circulatory insufficiency index; CO — cardiac output; CVRI — cardiovascular response index; DBP — diastolic blood pressure; HR — heart rate; PP — pulse pressure; SBP — systolic blood pressure; SPR — specific peripheral resistance; SV — stroke volume; TPR — total peripheral resistance.

Показатели системного давления во всех группах спортсменов на 10-м сеансе БОС-тренинга по  $\beta$ -ритму головного мозга преимущественно имеют тенденцию к снижению (табл. 1).

В группе спортсменов циклических видов спорта (1-я группа) отмечается снижение показателей ( $p > 0,05$ ) частоты сердечных сокращений (ЧСС) на 5 %, систолического артериального давления (САД) — на 1 %, диастолического артериального давления (ДАД) — на 5 %, среднего артериального давления (АДср) — на 3 % при подъеме пульсового давления (ПД) на 4 %. Данная тенденция изменения показателей ССС рассматривается как желательный вариант физиологической реакции. У спортсменов скоростно-силовых видов спорта (2-я группа) ЧСС снижается на 12 %, отмечаются нехарактерные для вида спорта исходные значения САД —  $125,6 \pm 13,29$  мм рт. ст. с последующим их снижением на 5 % до нормированных значе-

ний при подъеме ДАД на 4 %, стабилизации значений АДср и снижении показателя ПД на 16 % ( $p < 0,05$ ). Наблюдаемые неоднозначные гетерохронные изменения в функционировании ССС могут быть обусловлены сформированной стратегией при неполной и незавершенной адаптации к физической нагрузке, выполняемой в гипоксических условиях, характерной для представителей скоростно-силовых видов спорта. Эта особенность отразилась в стратегии выполнения поставленных ментальных задач в ходе БОС-тренинга по  $\beta$ -ритму головного мозга, выполнение которых идет за счет усиления церебрального кровотока, обеспечиваемого функционированием ССС, что позволяет предположить перенос стратегии адаптации к физическим нагрузкам на выполнение ментальных задач, реализуемых мозговыми структурами в условиях «рабочей» гипоксии.

В группе спортсменов-единоборцев (3-я группа) отмечается наибольшее число значимых изменений показателей системного давления со снижением значений ЧСС на 23 %, ДАД — на 8 %, АДср — на 6 % ( $p < 0,05$ ) при снижении САД на 4 % и стабилизации ПД. Функциональные изменения ССС, вызванные изменением функционирования мозговых структур на 10-м сеансе БОС-тренинга по  $\beta$ -ритму головного мозга, в данной группе спортсменов происходят за счет во-

влечения механизмов, поддерживающих системное давление, и являются оптимальным вариантом реакции организма. Для спортсменов игровых (4-я группа) видов спорта нехарактерным является повышенное исходное значение САД до  $123,7 \pm 13,08$  мм рт. ст., снижающееся в последующем на 3 % до диапазона нормированных значений при однонаправленном снижении остальных показателей: ЧСС — на 8 %, ДАД — на 2 %, АДср. — на 3 %, ПД — на 5 %. У спортсменов сложно-координационных видов спорта (5-я группа) отмечена тенденция снижения показателей системного давления: ЧСС — на 6 %, САД — на 1 %, ДАД — на 3 %, АДср — на 2 % при повышении ПД на 2 %.

По показателям сердечной деятельности (ударного объема сердца, минутного объема кровообращения (МОК), сердечного индекса (СИ)) достоверных изменений после 10-го сеанса БОС-тренинга по  $\beta$ -ритму головного мозга в 1-й группе спортсменов не отмечено. У спортсменов скоростно-силовых (2-я группа) видов спорта наблюдается снижение показателей ударного объема, МОК и СИ на 8, 20 и 19 % соответственно ( $p < 0,05$ ). У спортсменов-единоборцев (3-я группа) МОК снизился на 18 % ( $p < 0,05$ ). Кроме того, во 2-й и 3-й группах спортсменов отмечается экономизация регуляции функционирования ССС по сдвигу значений СИ из эукинетического типа кровообраще-

**Таблица 1.** Динамика показателей системного давления на 10-м сеансе БОС-тренинга по  $\beta$ -ритму головного мозга в группах спортсменов с различным характером спортивной деятельности

**Table 1.** Dynamics of the systemic pressure indices during the 10th session of the  $\beta$ -rhythm biofeedback training in groups of athletes of different sports

Показатели / Indicators	Группы спортсменов / Athlete groups					
	1-я группа / Group 1	2-я группа / Group 2	3-я группа / Group 3	4-я группа / Group 4	5-я группа / Group 5	
ЧСС, уд/мин / HR, beats/min	1	65,9 ± 5,84	68,6 ± 17,41	75,0 ± 2,05	65,6 ± 12,49	67,7 ± 9,38
	2	62,8 ± 6,60	60,8 ± 6,25	59,5 ± 2,12*	60,7 ± 8,09	63,6 ± 6,83
САД, мм рт. ст. / sBP, mmHg	1	114,1 ± 6,09	125,6 ± 13,29	117,5 ± 3,54	123,7 ± 13,08	112,9 ± 4,83
	2	112,7 ± 8,44	119,4 ± 11,13	112,5 ± 3,54	119,4 ± 12,99	111,9 ± 5,26
ДАД, мм рт. ст. / dBP, mmHg	1	68,1 ± 7,22	65,2 ± 7,63	72,5 ± 3,54	68,1 ± 7,25	68,7 ± 6,01
	2	64,8 ± 6,15	68,0 ± 5,83	67,0 ± 1,41*	66,7 ± 8,62	66,7 ± 5,30
АДср., мм рт. ст. / BPmean, mmHg	1	83,4 ± 6,22	85,3 ± 7,86	87,5 ± 3,54	86,6 ± 6,76	83,4 ± 5,15
	2	80,8 ± 4,95	85,1 ± 6,26	82,2 ± 0,24*	84,3 ± 8,86	81,8 ± 4,03
ПД, мм рт. ст. / PP, mmHg	1	46,0 ± 6,16	60,4 ± 12,73	45,0 ± 3,08	55,6 ± 14,46	44,3 ± 4,86
	2	47,8 ± 10,49	51,4 ± 10,57*	45,5 ± 4,95	52,8 ± 11,07	45,3 ± 7,25

**Примечание:** 1 — фон; 2 — нагрузка; 1-я группа — спортсмены циклических видов спорта; 2-я группа — спортсмены скоростно-силовых видов спорта; 3-я группа — спортсмены-единоборцы; 4-я группа — спортсмены игровых видов спорта; 5-я группа — спортсмены сложно-координационных видов спорта; \* — достоверные различия показателя до и после сеанса,  $p < 0,05$ .

**Note:** 1 — background; 2 — load; Group 1 — athletes of cyclic sports; Group 2 — athletes of speed-strength sports; Group 3 — single combat athletes; Group 4 — athletes of team sports; Group 5 — athletes of complex coordination sports; \* — significant differences in the indicator before and after the session,  $p < 0,05$ .

ния (ЭТК) до гипокинетического (ГпТК): во 2-й группе ( $p < 0,05$ ) — с  $3,0 \pm 0,73$  до  $2,4 \pm 0,26$  л/мин/м<sup>2</sup>, в 3-й группе — с  $2,9 \pm 0,53$  до  $2,4 \pm 0,38$  л/мин/м<sup>2</sup>. В остальных группах спортсменов (4-я и 5-я группы) изменений не выявлено.

Показатели периферических сосудов на 10-м сеансе БОС-тренинга по  $\beta$ -ритму головного мозга достоверно ( $p < 0,05$ ) изменяются только у спортсменов скоростно-силовых видов спорта (2-я группа): возрастают значения общего периферического сопротивления сосудов — с  $1310,2 \pm 323,10$  до  $1520,2 \pm 208,72$  дин/с/см<sup>-5</sup>, удельного периферического сопротивления сосудов — с  $30,2 \pm 7,19$  до  $35,1 \pm 4,50$  у.е., что указывает на состояние напряжения периферического сосудистого русла. Данные изменения могут быть обусловлены особенностями стратегии долговременной адаптации к физической деятельности, выполнение которой у спортсменов данной группы, особенно у представителей силовых видов спорта, сопряжено с явлениями гипоксии и недовосстановлением затраченных ресурсов организма [14–16], создавая феномен неполной [17] или незавершенной [18] адаптации. В остальных группах спортсменов (1, 3, 4 и 5-я группы) достоверных изменений изучаемых показателей не выявлено.

Достоверные сдвиги показателей функциональных изменений ССС на 10-м сеансе ( $p < 0,05$ ) в 1-й группе спортсменов (циклические виды спорта) отмечаются по повышению значений индекса функциональных изменений на 4 %. У спортсменов скоростно-силовых видов спорта (2-я группа) на 15 % повышаются значения индекса сердечно-сосудистой регуляции ( $p < 0,05$ ), что согласуется с данными, представленными выше о напряжении в регуляции ССС при обеспечении высокого уровня внимания и психической работоспособности в процессе выполнения ментальных задач. У спор-

тсменов-единоборцев (3-я группа) индекс недостаточности кровообращения увеличился на 9,5 % ( $p < 0,05$ ), указывая на напряжение в функционировании ССС, связанного с активизацией процессов, обеспечивающих психическую работоспособность, реализуемую с вовлечением механизмов, поддерживающих системное давление. В остальных группах спортсменов (4-я, 5-я группы) достоверных изменений изучаемых показателей не выявлено.

Результаты, полученные в ходе данного исследования, свидетельствуют о расширенных коррекционно-терапевтических возможностях нейробиоуправления, раскрывая потенциальные перспективы не только оптимизации функционального состояния спортсменов, но и процессов восстановления и повышения работоспособности спортсменов альтернативной фармакологической коррекции, что отвечает запросам современной спортивной медицины, теории и практики спорта.

Вместе с тем применение нейробиоуправления по  $\beta$ -ритму в практике спортивной медицины требует дополнительного детального изучения особенностей и разработки индивидуальных методик в зависимости от вида спортивной деятельности, особенностей регулирования сердечной деятельности и др.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, наряду с известными эффектами биоуправления по  $\beta$ -ритму головного мозга, связанными с улучшением функций внимания, у спортсменов отмечается положительная динамика в повышении эффективности и экономизации деятельности организма при выполнении ментальных задач, что определяется особенностями стратегии адаптации к физической (спортивной) нагрузке.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Лунина Наталья Владимировна**, кандидат биологических наук, доцент кафедры физической реабилитации, массажа и оздоровительной физической культуры им. И.М. Саркизова-Серазини РУС «ГЦОЛИФК»; старший научный сотрудник Центра медико-биологических технологий ФГБУ «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1782-3217>

**Корягина Юлия Владиславовна**, доктор биологических наук, профессор, руководитель Центра медико-биологических технологий ФГБУ «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства».

E-mail: [nauka@skfmba.ru](mailto:nauka@skfmba.ru);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5468-0636>

**Ефименко Наталья Викторовна**, доктор медицинских наук, профессор, заместитель генерального директора по научной работе — руководитель Пятигорского НИИ курортологии филиала «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8854-9916>

**Тер-Акопов Гукас Николаевич**, кандидат экономических наук, генеральный директор ФГБУ «Северо-Кавказский

федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7432-8987>

**Нопин Сергей Викторович**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник центра медико-биологических технологий ФГБУ «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9406-4504>

**Ахкубекова Нелли Катмурзаевна**, доктор медицинских наук, врач-эндокринолог Пятигорской клиники ФГБУ «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7881-7916>

**Уханова Ольга Петровна**, доктор медицинских наук, заведующая отделением, врач — аллерголог-иммунолог центра аллергологии, астмы и клинической иммунологии ФГБУ «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4257-0410>

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи,

прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: Лунина Н.В. — проведение исследования; анализ данных; написание черновика рукописи; Корягина Ю.В. — научное обоснование; методология; проверка и редактирование рукописи; Ефименко Н.В. — курирование проекта; проверка и редактирование рукописи; Тер-Акопов Г.Н. — руководство проектом; Нопин С.В. — статистический анализ данных; Ахкубекова Н.К. — анализ данных; Уханова О.П. — анализ данных.

**Источник финансирования.** Данное исследование не было поддержано никакими внешними источниками финансирования.

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

**Этическое утверждение.** Авторы заявляют, что все процедуры, использованные в данной статье, соответствуют этическим стандартам учреждений, проводивших исследование, и соответствуют Хельсинкской декларации в редакции 2013 г. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России (протокол № 1 от 10.02.2022).

**Доступ к данным.** Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить по обоснованному запросу у корреспондирующего автора.

#### ADDITIONAL INFORMATION

**Natalya V. Lunina**, Ph.D. (Biol.), Associate Professor, Department of Physical Rehabilitation, Massage and Recreational Physical Education named after I.M. Sarkizov-Serazini, Russian University of Sport "GTSOLIFK"; Senior Researcher of the Center for biomedical technologies, North Caucasian Federal Research-Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1782-3217>

**Yulia V. Koryagina**, Dr.Sci. (Biol.), Professor, Head, Center for Biomedical Technologies, North Caucasian Federal Research-Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency. E-mail: [nauka@skfmba.ru](mailto:nauka@skfmba.ru);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5468-0636>

**Nataliya V. Efimenko**, Dr.Sci. (Med.), Professor, Deputy for Academic Affairs, Head of the Pyatigorsk Scientific-Research Center of Balneology, North Caucasian Federal Research-Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8854-9916>

**Gukas N. Ter-Akopov**, Ph.D. (Econ.), General Director, North Caucasian Federal Research-Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7432-8987>

**Sergey V. Nopin**, Dr.Sci. (Technical Sciences), Leading Researcher at the Center for Medical and Biological Technologies of the North Caucasian Federal Research-Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9406-4504>

**Nelly K. Akhkubekova**, Dr.Sci. (Med.), Endocrinologist, Pyatigorsk Clinic, North Caucasian Federal Research-Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7881-7916>

**Olga P. Ukhanova**, Dr.Sci. (Med.), Head of the Department — Allergist Immunologist, Center for Allergology, Asthma and Clinical Immunology, North Caucasian Federal Research-Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4257-0410>

**Author Contributions.** All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors contributed significantly to the conception, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contribution: Lunina N.V. — investigation; formal analysis; writing — original draft; Koryagina Yu.V. — conceptualization; methodology; writing — review & editing; Efimenko N.V. — supervision; writing — review & editing; Ter-Akopov G.N. — project administration; Nopin S.V. — statistical data analysis; Akhkubekova N.K. — data analysis; Ukhanova O.P. — data analysis.

**Funding.** This study was not supported by any external funding sources.

**Disclosure.** The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**Ethics Approval.** The authors declare that all procedures used in this article meet the ethical standards of the institutions that conducted the study and comply with the Declaration of Helsinki as revised in 2013. The study was approved by the local ethics committee of the FSBI "North Caucasian Federal Research-Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency", Essentuki, Russia (Protocol No. 1 dated February 10, 2022).

**Data Access Statement.** The data that support the findings of this study are available on reasonable request from the corresponding author.

### Список литературы / References

- Штарк М.Б., Скок А.Б. Применение электроэнцефалографического биофидбека в клинической практике (литературный обзор). Биоуправление 3. Теория и практика. 1998: 130–41. [Shtark M.B., Skok A.B. Primenenie elektroencefalograficheskogo biofdbeka v klinicheskoy praktike (literaturnyj obzor). Bioupravlenie 3. Teoriya i praktika; 1998: 130–41. (In Russ..)]
- Демин Д.Б., Поскотинова Л.В. Физиологические основы методов функционального биоуправления. Экология человека. 2014; 21(9): 48–59. <https://doi.org/10.17816/humeco17208> [Demin D.B., Poskotinova L.V. Physiological basis of the functional biofeedback methods. Ekologiya cheloveka (Human Ecology). 2014; 21(9): 48–59. <https://doi.org/10.17816/humeco17208> (In Russ..)]
- Giggins O.M., Persson U.M., Caulfield B. Biofeedback in rehabilitation. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. 2013; 10: 60. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-60>
- Jamil N., Belkacem A.N., Benjelifa E. A Brain. Computer Interface Approach for Improving Pedagogical Practices in Virtual Learning: A Conceptual Framework. Proceedings of 2022 IEEE Learning with MOCS (LWMOCS). Guatemala; 2022: 72–7. <https://doi.org/10.1109/LWMOCS53067.2022.9927791>
- Moleiro M.A., Sid F.V. Effects of biofeedback training on voluntary heart rate control during dynamic exercise. Applied Psychophysiology and Biofeedback. 2001; 26: 279–92. <https://doi.org/10.1023/A:1013149703402>

6. Лунина Н.В., Корягина Ю.В. Воздействие БОС-тренинга на когнитивные функции спортсменов. Современные вопросы биомедицины. 2022; 6(4). [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2022\\_06\\_04\\_30](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_04_30) [Lunina N.V., Koryagina Yu.V. Impact of biofeedback training on cognitive functions of athletes. Modern Issues of Biomedicine. 2022; 6(4). [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2022\\_06\\_04\\_30](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_04_30) (In Russ.).]
7. Лунина Н.В., Корягина Ю.В. Влияние БОС-тренинга по бета-ритму головного мозга на уровень тревожности и эндогенную оценку времени спортсменами. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2022; 99(6–2): 44–9. <https://doi.org/10.17116/kurort20229906244> [Lunina N.V., Koryagina Yu.V. Influence of biofeedback training on beta rhythm of the brain on the level of anxiety and endogenous time estimation of athletes. Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy. 2022; 99(6–2): 44–9. <https://doi.org/10.17116/kurort20229906244> (In Russ.).]
8. Лунина Н.В., Корягина Ю.В. Кумулятивное влияние курса нейробиоуправления по бета-ритму на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы спортсменов. Современные вопросы биомедицины. 2022; 6(2). [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2022\\_06\\_02\\_28](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_02_28) [Lunina N.V., Koryagina Yu.V. Cumulative effect of the beta rhythm neurobiofeedback course on the functional state of the cardiovascular system of athletes. Modern Issues of Biomedicine. 2022; 6(2). [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2022\\_06\\_02\\_28](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_02_28) (In Russ.).]
9. Лунина Н.В. Особенности срочной адаптации системы кровообращения спортсменов с различным вегетативным статусом в процессе нейробиоуправления. Современные вопросы биомедицины. 2021; 5 (4). [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2021\\_05\\_04\\_19](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2021_05_04_19) [Lunina N.V. Features of urgent adaptation of the blood circulation system to the neurofeedback session in athletes with various vegetative cardiac activities. Modern Issues of Biomedicine. 2021; 5(4). [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2021\\_05\\_04\\_19](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2021_05_04_19) (In Russ.).]
10. Lagos L., Vaschillo E.G., Vaschillo B., et. al. Heart rate variability biofeedback as a strategy for combating competitive anxiety: a case study. Biofeedback. 2008; 36 (3): 109–15.
11. Dupree M. Exploring a bioneurofeedback training intervention to enhance psychological skills & performance in sport [dissertation]. Canada: University of Ottawa; 2008. <http://dx.doi.org/10.20381/ruor-12196>
12. Pagaduan D.S. Neuromuscular, cardiovascular and cortical responses to heart rate variability with biofeedback [dissertation]. University of Tasmania, 2021.
13. Белоцерковский З.Б., Любина Б.Г. Сердечная деятельность и функциональная подготовленность у спортсменов. М.: Советский спорт, 2012. 548 с. [Belocerkovskij Z.B., Lyubina B.G. Serdechnaya deyatelnost' i funkcional'naya podgotovlennost' u sportsmenov. M.: Sovetskij sport, 2012. 548 p. (In Russ.).]
14. Joyner M.J., Dominelli P.B. The central cardiovascular system limits aerobic exercise capacity. Experimental physiology. 2021; 106: 2299–303. <https://doi.org/10.1113/EP088187>
15. Корягина Ю.В. Хронологические основы спортивной деятельности. Омск: Изд-во СибГУФК, 2008. 227 с. [Koryagina Yu.V. Hronologicheskie osnovy sportivnoj deyatelnosti. Omsk: Izdatel'stvo SibGUFK, 2008. 227 p. (In Russ.).]
16. Воробьев А.Н. Тренировка. Работоспособность. Реабилитация. М.: Физкультура и спорт, 1989. 272 с. [Vorob'ev A.N. Treirovka. Rabotosposobnost' Reabilitaciya. M.: Fizkul'tura i sport, 1989. 272 p. (In Russ.).]
17. Медведев В.И. Адаптация. СПб.: Институт мозга человека РАН, 2003. 584 с. [Medvedev V.I. Adaptaciya. SPb.: Institut mozga cheloveka RAN, 2003. 584 p. (In Russ.).]
18. Меерсон Ф.З., Пшенникова М.Г. Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам. М.: Медицина, 1988. 225 с. [Meerson F.Z., Pshennikova M.G. Adaptaciya k stressornym situacijam i fizicheskim nagruzkam. M.: Medicina, 1988. 225 p. (In Russ.).]