

УДК [612.825.4:612.172.2+371.693.4]:612.133

DOI: 10.37482/2687-1491-Z095

**ВЛИЯНИЕ КУРСА НЕЙРОБИОУПРАВЛЕНИЯ
НА МАКСИМАЛЬНОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА
И ПОКАЗАТЕЛИ ГЕМОДИНАМИКИ
СПОРТСМЕНОВ ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ**

В.С. Кормилец* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8725-5537>

О.В. Еремеева* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5943-9825>

С.И. Еремеев* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8685-4311>

*Ханты-Мансийская государственная медицинская академия
(Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, г. Ханты-Мансийск)

Нейробиоуправление по параметрам биоэлектрической активности мозга может служить дополнительным средством спортивной тренировки, в то же время его влияние на организм спортсменов не до конца изучено. **Цель** работы – оценить эффект курса нейробиоуправления на спортсменов высокой квалификации по показателям максимального потребления кислорода и гемодинамики. **Материалы и методы.** Проведено плацебо-контролируемое исследование эффектов нейробиоуправления у 102 спортсменов высокой квалификации обоего пола со средними уровнями спектральной мощности вариабельности сердечного ритма в диапазонах очень низкой, низкой и высокой частот в возрасте $20,2 \pm 1,8$ лет. В основную группу были включены 69 участников, в группу плацебо-контроля – 33. Нейробиоуправление выполнялось по протоколу повышения спектральной мощности альфа-ритма мозга в отведении C_3A_1 . Курс нейробиоуправления включал 15 сеансов. **Результаты.** Установлены статистически значимые эффекты курса нейробиоуправления, превосходящие плацебо-эффект: снижение диастолического (ДАД) и увеличение пульсового (ПАД) артериального давления. ДАД характеризовалось абсолютной убылью в 2,0 мм рт. ст. у спортсменов основной группы и 0,7 мм рт. ст. у представителей группы плацебо, ПАД – абсолютным приростом в 1,5 и 0,4 мм рт. ст. соответственно. Также были обнаружены статистически значимые изменения, появившиеся в результате курса, но не превосходящие эффект плацебо-воздействия: увеличение среднего значения относительной величины максимального потребления кислорода в основной группе на 0,30 мл/(мин·кг), в группе плацебо – на 0,46 мл/(мин·кг); уменьшение средней частоты сердечных сокращений на 1,5 и на 0,7 мин⁻¹ соответственно и среднего значения показателя двойного произведения на 1,9 и 1,1 соответственно без статистически значимых межгрупповых различий. Курсы нейробиоуправления и плацебо не вызвали статистически значимых изменений систолического артериального давления, коэффициента эффективности кровообращения, вегетативного индекса Кердо.

Ключевые слова: нейробиоуправление, артериальное давление, максимальное потребление кислорода, вариабельность ритма сердца, высококвалифицированные спортсмены.

Ответственный за переписку: Еремеев Сергей Игоревич, адрес: 628011, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, г. Ханты-Мансийск, ул. Мира, д. 40; e-mail: si.ermeev@hmgma.ru

Для цитирования: Кормилец В.С., Еремеева О.В., Еремеев С.И. Влияние курса нейробиоуправления на максимальное потребление кислорода и показатели гемодинамики спортсменов высокой квалификации // Журн. мед.-биол. исследований. 2022. Т. 10, № 2. С. 122–131. DOI: 10.37482/2687-1491-Z095

Оценка адаптационной способности спортсменов включает в себя анализ соотношения спектральных компонентов общей спектральной мощности variability ритма сердца (BPC). Базой для такого подхода являются данные о том, что в процессе тренировок общая мощность спектра (TP) растет преимущественно за счет увеличения относительной мощности дыхательных волн (HF). Также могут расти и абсолютные значения мощности сосудистых и метаболических волн (LF и VLF), при условии опережающего роста показателя HF [1, 2].

Модуляцию сердечного ритма можно представить как результат взаимодействия трех осцилляторов: метаболического, дыхательного, сосудистого. Метаболическую модуляцию (частоты до 0,05 Гц) связывают с гуморальными и температурными влияниями. Сосудистая модуляция представлена в спектре на частоте около 0,1 Гц. Дыхательная модуляция проявляется в полосе частот 0,11–0,5 Гц [3]. Получила известность концепция BPC как совокупного результата модуляции сердечного ритма дыхательным, сосудистым и метаболическим осцилляторами [4]. Предложена типология модуляции сердечного ритма, где критериями являются уровни относительной мощности спектра BPC в трех диапазонах: очень низкой (VLF%), низкой (LF%) и высокой (HF%) частоты (как проявления модуляции сердечного ритма соответственно метаболическим, сосудистым и дыхательным осцилляторами). Вариант взаимодействия метаболического, сосудистого и дыхательного осцилляторов, при котором относительная мощность спектра в диапазоне каждого из них не превышает верхней границы среднего уровня относительной мощности спектра, определяемого как значение верхнего квартиля в популяции (иными словами, когда ни один из модуляторов не доминирует над другими), рассматривается как эгалитарный тип модуляции сердечного ритма [5].

Показано, что максимальное потребление кислорода у спортсменов в определенной степени обуславливает уровни показателей BPC

[6]. Особенности абсолютных и относительных показателей максимального потребления кислорода изучаются в связи со спортивной специализацией [2].

Выявлено, что скорость восстановления показателей гемодинамики после физической нагрузки в группе спортсменов с симпатикотонией на фоне пониженной общей мощности BPC и пониженной активности автономного контура регуляции замедлена по сравнению со спортсменами с парасимпатикотонией на фоне высокой общей мощности variability ритма [6]. У спортсменов высокой квалификации отмечается стабильный уровень показателей гемодинамики в течение переходного и соревновательного периодов, что объясняется стабильным уровнем симпатической модуляции в эти периоды [7]. Большое внимание уделяется особенностям артериального давления у спортсменов в зависимости от направленности, продолжительности и объема тренировок [8].

Нейробиоуправление изучается в различных аспектах уже несколько десятилетий [9, 10]. Нейробиоуправление по параметрам биоэлектрической активности мозга в настоящее время рассматривается как эффективное дополнительное средство спортивной тренировки [11, 12]. Исследуются срочные и отставленные психофизиологические эффекты нейробиоуправления у лиц, занимающихся физической культурой и спортом [13]. В то же время остаются фрагментарно изученными механизмы влияния нейробиоуправления по спектральной мощности альфа-ритма ЭЭГ на максимальное потребление кислорода и показатели гемодинамики спортсменов высокой квалификации, плацебо-контролируемые исследования в данном направлении не проводились.

Целью настоящей работы была оценка эффекта курса нейробиоуправления по показателям максимального потребления кислорода и гемодинамики спортсменов высокой квалификации, характеризующихся эгалитарным типом модуляции сердечного ритма.

Материалы и методы. Дизайн исследования: одноцентровое, открытое, рандомизированное, проспективное, слепое, простое, сравнительное, плацебо-контролируемое.

Настоящее исследование было выполнено по стандартам этического комитета Ханты-Мансийской государственной медицинской академии, разработанным в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» (с поправками 2013 года), Правилами надлежащей клинической практики, утвержденными приказом Министерства здравоохранения РФ от 1 апреля 2016 года № 200н.

В период 2006–2020 годов в исследование были включены 102 испытуемых обоого пола, соответствующие критериям включения и исключения и давшие информированное согласие. Распределение в основную группу и группу плацебо производилось в соотношении 2:1 случайным образом (лотерейным методом). В основную группу были включены 69 участников, в группу плацебо-контроля – 33.

Критериями включения послужили: спортивная квалификация на уровне 1-го разряда и выше; эгалитарный тип модуляции сердечного ритма, когда относительная спектральная мощность ВРС в трех диапазонах частот не превышает границы среднего уровня в популяции (значение относительной спектральной мощности ВРС: в диапазонах очень низкой частоты (0,003–0,04 Гц, VLF%) – не более 42,4 % у женщин и 44,8 % у мужчин, в диапазоне низкой частоты (0,04–0,15 Гц, LF%) – не более 47,0 % у женщин и 46,3 % у мужчин, в диапазоне высокой частоты (0,04–0,15 Гц, HF%) – не более 40,5 % у женщин и 38,2 % у мужчин) [5].

Критериями исключения послужили: эпилептиформная активность; указание на беременность, лактация; экстрасистолы более 5 % кардиоритмограммы; прием лекарств; невыполнение требований протокола воздействия. Исключение из группы было возможно на лю-

бом этапе исследования в связи с применением различных видов лечения или иными обстоятельствами.

До и после плацебо-воздействия или курса нейробиоуправления в покое в лабораторных условиях обследуемым измеряли диастолическое (ДАД) и систолическое (САД) артериальное давление. Определяли коэффициент эффективности кровообращения (КЭК), пульсовое артериальное давление (ПАД), вегетативный индекс Кердо (ВИК), показатель двойного произведения, рассчитанный для условий покоя (ПДП).

Оценку относительной величины максимального потребления кислорода (на единицу массы тела – VO_{2max}/P) выполняли косвенным методом по данным нагрузочного тестирования и по номограммам Т. Sjöstrand [14]. Тестирование проводили на велоэргометре Corival V3 (Lode, Нидерланды) по протоколу трехступенчатого теста Т. Sjöstrand. Продолжительность каждой ступени нагрузки составляла 4 мин. Мощность нагрузки выбирали с учетом пола, возраста и массы тела испытуемых по таблицам [14]. Первое тестирование выполняли в день накануне начала курса нейробиоуправления или плацебо, второе – на следующий день после завершающего сеанса.

Запись ритмограммы сердца проводили при помощи электрокардиографа «Поли-Спектр-8/ЕХ» («Нейрософт», Россия) по протоколу коротких записей (длительность – 5 мин) [15]. ВРС оценивали с использованием программы «Поли-Спектр-Ритм» («Нейрософт», Россия).

Нейробиоуправление реализовывали по протоколу повышения спектральной мощности альфа-ритма головного мозга в монополярном отведении C_3A_1 ЭЭГ. Использовали программно-аппаратный комплекс «БОСЛАБ» на основе многоканального интерфейса БИ-012 («КОМСИБ», Россия). Курс содержал 15 сеансов и проводился циклически: 5 сеансов по 1 сеансу в день, затем перерыв 2 дня. Каждый сеанс длился 31 мин, в т. ч. настройка порог обратной связи занимала 1 мин, тренинг –

30 мин. Тренинг выполнялся непрерывным методом [16]. В основной группе проводилось истинное воздействие, при этом медиана спектральной мощности альфа-ритма головного мозга в течение 1 мин этапа определения фонового уровня этой мощности в начале очередного сеанса тренинга увеличивалась на 30 %. Повышенный на 30 % исходный уровень спектральной мощности альфа-ритма являлся порогом формирования сигнала обратной связи. В группе плацебо-контроля проводилось плацебо-воздействие. Для этого порог формирования сигнала обратной связи устанавливался на уровне медианы спектральной мощности альфа-ритма головного мозга в течение этапа определения фонового уровня этой мощности. Обстановка сеансов и инструкции испытуемым были идентичны.

Статистический анализ включал проверку данных на нормальность распределения с использованием критерия согласия Шапиро–Уилка. В случае нормального распределения обобщенные характеристики совокупности представляли величинами среднего арифметического (M) и среднего квадратического отклонения (SD), в случае распределения, отличного от нормального, – величинами медианы (Me), 25-го и 75-го перцентилей (Q_1, Q_3). В исследовании был принят критический уровень статистической значимости $\alpha = 0,05$ [16]. Оценку статистической значимости различий между группами производили методом факторного дисперсионного анализа (ANOVA) (среднее арифметическое M , стандартная ошибка SE , доверительный интервал $\pm 95\%$), оценку статистической значимости различий изменений параметров в результате воздействия (эффекта воздействия) – методом факторного дисперсионного анализа с повторными измерениями (ANOVA r.m.). Эффект от воздействия внутри групп оценивали с использованием критерия Вилкоксона. Применялась программа Statsoft Statistica 10.

Результаты. В полученной выборке средний возраст испытуемых составил $20,2 \pm 1,8$ лет; в основной группе – $20,2 \pm 1,8$ лет, в

группе плацебо-контроля – $20,1 \pm 1,8$ лет. Между группами не было обнаружено значимых различий по возрасту ($p > 0,05$). Дополнительное подразделение выделенных групп по критерию пола и последующий факторный дисперсионный анализ четырех подгрупп не выявил между ними статистически значимых различий ($p > 0,05$). Группа плацебо и основная группа по половому составу и возрасту были репрезентативны.

Данные о максимальном потреблении кислорода и параметрах гемодинамики обследованных спортсменов приведены в *таблице* (см. с. 126). В основной группе после курса нейробиоуправления среднее значение VO_{2max}/P увеличилось ($p = 0,000$ по критерию Вилкоксона), в группе плацебо статистически значимых изменений найдено не было ($p > 0,05$). По данным ANOVA значимые различия среднего значения VO_{2max}/P между основной группой и группой плацебо выявлены не были ни до ($p > 0,05$), ни после воздействия ($p > 0,05$). По данным ANOVA r.m. значимые различия изменения среднего значения VO_{2max}/P между группами обнаружены не были ($p > 0,05$). Абсолютный прирост VO_{2max}/P составил в основной группе $0,30$ мл/(мин·кг), в группе плацебо – $0,46$ мл/(мин·кг).

В результате курса нейробиоуправления среднее значение ЧСС статистически значительно уменьшилось в основной группе ($p = 0,000$ по критерию Вилкоксона) и в группе плацебо ($p = 0,037$). Значимых различий среднего значения ЧСС между группами не обнаружено ни до, ни после воздействия ($p > 0,05$), как и значимых различий изменения среднего значения ЧСС ($p > 0,05$).

Статистически значимых изменений средних значений САД в результате курса нейробиоуправления ни в основной группе, ни в группе плацебо не установлено ($p > 0,05$ по критерию Вилкоксона). Не выявлено значимых различий среднего значения САД между группами ни до, ни после воздействия ($p > 0,05$), а также значимых различий изменения среднего значения САД между группами ($p > 0,05$).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОТНОСИТЕЛЬНОГО МАКСИМАЛЬНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ
КИСЛОРОДА И ПАРАМЕТРОВ ГЕМОДИНАМИКИ У ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ
СПОРТСМЕНОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ КУРСА НЕЙРОБИОУПРАВЛЕНИЯ ИЛИ ПЛАЦЕБО
COMPARATIVE ANALYSIS OF MAXIMAL OXYGEN UPTAKE
AND HAEMODYNAMIC PARAMETERS IN HIGH-LEVEL ATHLETES
UNDER THE INFLUENCE OF A NEUROFEEDBACK COURSE OR PLACEBO

Параметр	Значение параметра ($M \pm SE$) в группе		Значимость различий (p) между группами	
	основной ($n = 69$)	плацебо ($n = 33$)	параметра (ANOVA)	изменения параметра (ANOVA r.m.)
VO ₂ max/P, мл/(мин·кг): до воздействия	56,26±0,65*	55,56±0,94	0,544	–
после воздействия	56,56±0,64*	56,02±0,93	0,632	0,617
ЧСС, мин ⁻¹ : до воздействия	57,6±0,8*	58,6±1,1**	0,458	–
после воздействия	56,1±0,7*	57,9±1,0**	0,159	0,096
САД, мм рт. ст.: до воздействия	114,7±0,8	113,8±1,2	0,551	–
после воздействия	114,2±0,7	113,4±1,1	0,552	0,826
ДАД, мм рт. ст.: до воздействия	69,1±0,8*	68,9±1,2**	0,920	–
после воздействия	67,1±0,9*	68,2±1,2**	0,490	0,034
ПАД, мм рт. ст.: до воздействия	45,6±0,5*	44,9±0,7	0,417	–
после воздействия	47,1±0,5*	45,3±0,8	0,056	0,026
ВИК: до воздействия	–20,3±2,1	–18,7±3,0	0,673	–
после воздействия	–20,7±2,0	–18,8±2,8	0,584	0,863
КЭК: до воздействия	2617,6±34,7	2617,4±50,1	1,000	–
после воздействия	2634,5±37,0	2614,2±53,6	0,756	0,518
ПДП: до воздействия	66,0±1,0*	66,7±1,4**	0,697	–
после воздействия	64,1±0,9*	65,6±1,3**	0,301	0,124

Примечание. Установлены статистически значимые различия параметров до и после воздействия ($p \leq 0,05$ по критерию Вилкоксона): * – в основной группе; ** – в группе плацебо. Полужирным выделены статистически значимые различия, выявленные методом ANOVA r.m.

В основной группе после курса нейробиоуправления среднее значение ДАД уменьшилось ($p = 0,000$ по критерию Вилкоксона), так же как и в группе плацебо ($p = 0,026$). По данным ANOVA значимые различия среднего значения ДАД между основной группой и группой плацебо выявлены не были ни до

($p > 0,05$), ни после воздействия ($p > 0,05$). По данным ANOVA r.m. в результате воздействия средние значения ДАД в основной группе уменьшились в большей мере, чем в плацебо группе ($p = 0,034$): ДАД показало абсолютную убыль в 2,0 мм рт. ст. в основной группе и 0,7 мм рт. ст. в группе плацебо.

В основной группе в результате курса нейробиоуправления среднее значение ПАД увеличилось ($p = 0,000$ по критерию Вилкоксона), в группе плацебо значимого изменения среднего значения ПАД обнаружено не было ($p > 0,05$). По данным ANOVA *t.m.* среднее значение ПАД в течение воздействия увеличилось в большей мере в основной группе, нежели в группе плацебо ($p = 0,026$): абсолютный прирост ПАД составил в основной группе 1,5 мм рт. ст., в группе плацебо – 0,4 мм рт. ст.

Статистически значимых изменений ВИК и КЭК ни в основной группе, ни в группе плацебо выявлено не было, как и различий между группами до и после воздействия ($p > 0,05$).

В основной группе после курса нейробиоуправления среднее значение ПДП статистически значимо уменьшилось ($p = 0,000$ по критерию Вилкоксона), в группе плацебо среднее значение ПДП также уменьшилось ($p = 0,043$). Абсолютная убыль ПДП составила 1,9 в основной группе и 1,1 в группе плацебо. Значимые различия изменения среднего значения ПДП между группами не были обнаружены ($p > 0,05$).

Обсуждение. Исследование относительного максимального потребления кислорода у спортсменов высокой квалификации не выявило значимых различий среднего уровня этого параметра, связанных с характером воздействия (курса нейробиоуправления или плацебо). В то же время в основной группе VO_{2max}/P увеличился на 0,30 мл/(мин·кг) ($p = 0,000$).

Установлено статистически значимое уменьшение среднего значения ЧСС за время проведения курса на 1,5 мин⁻¹ в основной группе ($p = 0,000$) и на 0,7 мин⁻¹ в группе плацебо ($p = 0,037$). Уменьшение ЧСС, вероятно, связано со значимым понижением уровня ДАД преимущественно в основной группе и значимым в основной группе увеличением ПАД. Обнаружено статистически значимое уменьшение ПДП, отражающего общую работу миокарда, на 1,9 в основной группе и на 1,1 в группе плацебо.

Вероятно, на динамику VO_{2max}/P и ЧСС оказывал влияние неучтенный фактор, возмож-

но, тренировочный процесс подготовительного периода [2]. Впервые полученные данные указывают на то, что внедрение курса нейробиоуправления в тренировочный процесс спортсменов высокой квалификации не сопровождается нежелательными эффектами в виде снижения физической работоспособности.

Полученные нами средние значения САД, ДАД и ПАД соответствуют данным других авторов [8, 17]. Стабильный уровень САД в течение исследования наблюдался и в основной группе, и в группе плацебо. В обеих группах испытуемых произошло статистически значимое уменьшение уровня ДАД. Впервые было показано, что различия уровня ДАД у спортсменов высокой квалификации связаны с характером воздействия (курс нейробиоуправления или курс плацебо; $p = 0,034$) и снижение ДАД в результате курса нейробиоуправления превосходит эффект плацебо. Ряд авторов объясняют стабильный уровень артериального давления у спортсменов стабильным уровнем симпатической модуляции [7]. Вероятно, уменьшение вазопрессорного влияния сосудодвигательного центра было связано с присущими обеим группам испытуемых поведенческими изменениями, обусловленными процедурой исследования. В основной группе уменьшение вазопрессорного влияния, возможно, было следствием увеличения спектральной мощности альфа-ритма головного мозга в течение курса нейробиоуправления. Нами выявлено, что рост уровня ПАД у спортсменов высокой квалификации в результате курса нейробиоуправления превышает эффект плацебо ($p = 0,026$).

Анализ ВИК, отражающего функциональное состояние симпатического и парасимпатического отделов, не выявил статистически значимых изменений в пределах групп после воздействия, а также различий между группами ($p > 0,05$). Поскольку нами были найдены статистически значимые однонаправленные изменения и ДАД, и ЧСС, на основе которых рассчитывается ВИК, отсутствие изменений ВИК выглядит объяснимым.

Подведем итоги проведенного исследования:

1. Сравнение эффектов нейробиоуправления по протоколу повышения спектральной мощности альфа-ритма мозга в отведении C_3A_1 у высококвалифицированных спортсменов с плацебо-воздействием выявило достоверное влияние указанного курса на диастолическое и пульсовое артериальное давление. В результате воздействия курса нейробиоуправления ДАД понизилось статистически значимо больше, чем при плацебо-воздействии ($p = 0,034$). ПАД увеличилось статистически значимо больше по сравнению с плацебо-эффектом ($p = 0,026$).

2. Обнаружены эффекты курса нейробиоуправления, не превышающие эффект плацебо-воздействия. В частности, статистически зна-

чимо увеличилось среднее значение $VO_2\max/P$ и статистически значимо уменьшились средние значения ЧСС, ПДП.

3. Получены свидетельства того, что внедрение курса нейробиоуправления в тренировочный процесс спортсменов высокой квалификации не сопровождается нежелательными эффектами в виде снижения физической работоспособности или неблагоприятных сдвигов показателей сердечного выброса, работы сердца, периферического сопротивления сосудов, изменения сформировавшегося в процессе многолетней спортивной подготовки взаимоотношения активности отделов вегетативной нервной системы.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Гаврилова Е.А. Спорт, стресс, вариабельность: моногр. М.: Спорт, 2015. 168 с.
2. Кудря О.Н. Физическая работоспособность и энергообеспечение мышечной деятельности юных спортсменов, занимающихся различными видами спорта // Лечеб. физкультура и спортив. медицина. 2011. № 8(92). С. 36–40.
3. Данилова Н.Н. Сердечный ритм и информационная нагрузка // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 14: Психология. 1995. № 4. С. 14–27.
4. Данилова Н.Н., Астафьев С.В. Изменение вариабельности сердечного ритма при информационной нагрузке // Журн. высш. нерв. деятельности им. И.П. Павлова. 1999. Т. 49, вып. 1. С. 28–38.
5. Еремеев С.И., Еремеева О.В., Кормилец В.С. Типология модуляции сердечного ритма на основе трехфакторной концепции и нормативные величины показателей спектрального анализа вариабельности ритма сердца в популяции здоровых людей в возрасте 17–27 лет // Медленные колебательные процессы в организме человека. Теоретические и прикладные аспекты нелинейной динамики в физиологии и медицине: материалы VI Всерос. симп. и IV Шк.-семинара с междунар. участием (24–27 мая, г. Новокузнецк). Новокузнецк: НИИ комплекс. проблем гигиены и проф. заболеваний СО РАМН, 2011. С. 113–120.
6. Гаврилова Е.А. Вариабельность ритма сердца и спорт // Физиология человека. 2016. Т. 42, № 5. С. 121–129. DOI: [10.7868/S0131164616050088](https://doi.org/10.7868/S0131164616050088)
7. Azevedo L.F., Perlingeiro P., Hachul D.T., Gomes-Santos I.L., Tsutsui J.M., Negrao C.E., De Matos L.D. Predominance of Intrinsic Mechanism of Resting Heart Rate Control and Preserved Baroreflex Sensitivity in Professional Cyclists After Competitive Training // PLoS One. 2016. Vol. 11, № 1. Art. № e0148036. DOI: [10.1371/journal.pone.0148036](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148036)
8. Berge H.M., Isern C.B., Berge E. Blood Pressure and Hypertension in Athletes: A Systematic Review // Br. J. Sports Med. 2015. Vol. 49, № 11. P. 716–723. DOI: [10.1136/bjsports-2014-093976](https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-093976)
9. Dempster T., Vernon D.J. Identifying Indices of Learning for Alpha Neurofeedback Training // Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 2009. Vol. 34, № 4. P. 309–328. DOI: [10.1007/s10484-009-9112-3](https://doi.org/10.1007/s10484-009-9112-3)
10. Marzbani H., Merateb H.R., Mansourian M. Methodological Note: Neurofeedback: A Comprehensive Review on System Design, Methodology and Clinical Applications // Basic and Clinical Neuroscience. 2016. Vol. 7, № 2. P. 143–158. DOI: [10.15412/J.BCN.03070208](https://doi.org/10.15412/J.BCN.03070208)

11. Sherlin L.H., Larson N.C., Sherlin R.M. Developing a Performance Brain Training™ Approach for Baseball: A Process Analysis with Descriptive Data // *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. 2013. Vol. 38, № 1. P. 29–44. DOI: [10.1007/s10484-012-9205-2](https://doi.org/10.1007/s10484-012-9205-2)
12. Mirifar A., Beckmann J., Ehrlenspiel F. Neurofeedback as Supplementary Training for Optimizing Athletes' Performance: A Systematic Review with Implications for Future Research // *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2017. Vol. 75. P. 419–432. DOI: [10.1016/j.neubiorev.2017.02.005](https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.02.005)
13. Кайгородцева О.В., Таламова И.Г., Тристан В.Г. Динамика альфа-ритма головного мозга после прохождения локального альфа-стимулирующего тренинга у лиц, занимающихся физической культурой и спортом // *Спортив. медицина: наука и практика*. 2016. Т. 6, № 4. С. 80–85. DOI: [10.17238/ISSN2223-2524.2016.4.80](https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2016.4.80)
14. Михайлов В.М. Нагрузочное тестирование под контролем ЭКГ: велоэргометрия, тредмилл-тест, степ-тест, ходьба. Иваново: ООО ИИТ «А-Гриф»: Нейрософт, 2005. 440 с.
15. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability: Standards of Measurement, Physiological Interpretation and Clinical Use // *Circulation*. 1996. Vol. 93, № 5. P. 1043–1065. DOI: [10.1161/01.cir.93.5.1043](https://doi.org/10.1161/01.cir.93.5.1043)
16. Кормилец В.С., Еремеева О.В., Еремеев С.И. Плацебо-контролируемое исследование влияния тренинга с биологической обратной связью по альфа ритму мозга на электроэнцефалограмму спортсменов со средними уровнями относительной мощности спектра вариабельности ритма сердца // *Соврем. вопросы биомедицины*. 2021. Т. 5, № 2. DOI: [10.51871/2588-0500_2021_05_02_7](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2021_05_02_7)
17. Pentikäinen H., Toivo K., Kokko S., Alanko L., Heinonen O.J., Korpelainen R., Selänne H., Vasankari T., Kujala U.M., Villberg J., Parkkari J., Savonen K. Resting Electrocardiogram and Blood Pressure in Young Endurance and Nonendurance Athletes and Nonathletes // *J. Athl. Train.* 2021. Vol. 56, № 5. P. 484–490. DOI: [10.4085/78-20](https://doi.org/10.4085/78-20)

References

1. Gavrilova E.A. *Sport, stress, variabel'nost'* [Sport, Stress, Variability]. Moscow, 2015. 168 p.
2. Kudrya O.N. Fizicheskaya rabotosposobnost' i energoobespechenie myshechnoy deyatel'nosti yunyh sportsmenov, zanimayushchikhsya razlichnymi vidami sporta [Physical Performance and Power Supply of Muscular Activity of Young Athletes, Occupied with Various Sports]. *Lechebnaya fizkul'tura i sportivnaya meditsina*, 2011, no. 8, pp. 36–40.
3. Danilova N.N. Serdechnyy ritm i informatsionnaya nagruzka [Heart Rhythm and Information Load]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 14: Psikhologiya*, 1995, no. 4, pp. 14–27.
4. Danilova N.N., Astaf'ev S.V. Izmenenie variabel'nosti serdechnogo ritma pri informatsionnoy nagruzke [Effects of Informational Load on Heart Rate Variability]. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti im. I.P. Pavlova*, 1999, vol. 49, no. 1, pp. 28–38.
5. Eremeev S.I., Eremeeva O.V., Kormilets V.S. Tipologiya modulyatsii serdechnogo ritma na osnove trekhfaktornoy kontseptsii i normativnye velichiny pokazateley spektral'nogo analiza variabel'nosti ritma serdtsa v populyatsii zdorovykh lyudey v vozraste 17–27 let [Typology of Heart Rate Modulation Based on the Three-Factor Concept and Normative Values of Spectral Analysis Indicators of Heart Rate Variability in a Healthy Population Aged 17–27 Years]. *Medlennye kolebatel'nye protsessy v organizme cheloveka. Teoreticheskie i prikladnye aspekty nelineynoy dinamiki v fiziologii i meditsine* [Slow Oscillatory Processes in the Human Body. Theoretical and Applied Aspects of Nonlinear Dynamics in Physiology and Medicine]. Novokuznetsk, 2011, pp. 113–120.
6. Gavrilova E.A. Heart Rate Variability and Sports. *Hum. Physiol.*, 2016, vol. 42, no. 5, pp. 571–578. DOI: [10.1134/S036211971605008X](https://doi.org/10.1134/S036211971605008X)
7. Azevedo L.F., Perlingeiro P., Hachul D.T., Gomes-Santos I.L., Tsutsui J.M., Negrao C.E., De Matos L.D. Predominance of Intrinsic Mechanism of Resting Heart Rate Control and Preserved Baroreflex Sensitivity in Professional Cyclists After Competitive Training. *PLoS One*, 2016, vol. 11, no. 1. Art. no. e0148036. DOI: [10.1371/journal.pone.0148036](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148036)
8. Berge H.M., Isern C.B., Berge E. Blood Pressure and Hypertension in Athletes: A Systematic Review. *Br. J. Sports Med.*, 2015, vol. 49, no. 11, pp. 716–723. DOI: [10.1136/bjsports-2014-093976](https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-093976)

9. Dempster T., Vernon D.J. Identifying Indices of Learning for Alpha Neurofeedback Training. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*, 2009, vol. 34, no. 4, pp. 309–328. DOI: [10.1007/s10484-009-9112-3](https://doi.org/10.1007/s10484-009-9112-3)
10. Marzbani H., Merateb H.R., Mansourian M. Methodological Note: Neurofeedback: A Comprehensive Review on System Design, Methodology and Clinical Applications. *Basic Clin. Neurosci.*, 2016, vol. 7, no. 2, pp. 143–158. DOI: [10.15412/J.BCN.03070208](https://doi.org/10.15412/J.BCN.03070208)
11. Sherlin L.H., Larson N.C., Sherlin R.M. Developing a Performance Brain Training™ Approach for Baseball: A Process Analysis with Descriptive Data. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*, 2013, vol. 38, no. 1, pp. 29–44. DOI: [10.1007/s10484-012-9205-2](https://doi.org/10.1007/s10484-012-9205-2)
12. Mirifar A., Beckmann J., Ehrlenspiel F. Neurofeedback as Supplementary Training for Optimizing Athletes' Performance: A Systematic Review with Implications for Future Research. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 2017, vol. 75, pp. 419–432. DOI: [10.1016/j.neubiorev.2017.02.005](https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.02.005)
13. Kaygorodtseva O.V., Talamova I.G., Tristan V.G. Dinamika al'fa-ritma golovnogo mozga posle prokhozhdeniya lokal'nogo al'fa-stimuliruyushchego treninga u lits, zanimayushchikhsya fizicheskoy kul'turoy i sportom [Dynamics of the Alpha-Rhythm of the Brain After Local Alpha Stimulating Training in Persons Engaged in Physical Culture and Sports]. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika*, 2016, vol. 6, no. 4, pp. 80–85. DOI: [10.17238/ISSN2223-2524.2016.4.80](https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2016.4.80)
14. Mikhaylov V.M. *Nagruzochnoe testirovanie pod kontrolem EKG: veloergometriya, tredmill-test, step-test, khod'ba* [Stress Testing Under ECG Control: Bicycle Ergometry, Treadmill Test, Step Test, Walking]. Ivanovo, 2005. 440 p.
15. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability: Standards of Measurement, Physiological Interpretation and Clinical Use. *Circulation*, 1996, vol. 93, no. 5, pp. 1043–1065. DOI: [10.1161/01.cir.93.5.1043](https://doi.org/10.1161/01.cir.93.5.1043)
16. Kormilets V.S., Ereemeeva O.V., Ereemeev S.I. Platsebo-kontroliruemoe issledovanie vliyaniya treninga s biologicheskoy obratnoy svyaz'yu po al'fa ritmu mozga na elektroentsefalogrammu sportsmenov so srednimi urovnyami odnositel'noy moshchnosti spektra variabel'nosti ritma serdtsa [Placebo-Controlled Study of the Effect of Biofeedback Training on the Alpha Rhythm of the Brain on the Electroencephalogram of Athletes with Mean Levels of Relative Power of the Spectrum of Heart Rate Variability]. *Sovremennye voprosy biomeditsiny*, 2021, vol. 5, no. 2. DOI: [10.51871/2588-0500_2021_05_02_7](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2021_05_02_7)
17. Pentikäinen H., Toivo K., Kokko S., Alanko L., Heinonen O.J., Korpelainen R., Selänne H., Vasankari T., Kujala U.M., Villberg J., Parkkari J., Savonen K. Resting Electrocardiogram and Blood Pressure in Young Endurance and Nonendurance Athletes and Nonathletes. *J. Athl. Train.*, 2021, vol. 56, no. 5, pp. 484–490. DOI: [10.4085/78-20](https://doi.org/10.4085/78-20)

DOI: 10.37482/2687-1491-Z095

Vera S. Kormilets* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8725-5537>Ol'ga V. Ereemeeva* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5943-9825>Sergey I. Ereemeev* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8685-4311>

*Khanty-Mansiysk State Medical Academy
(Khanty-Mansiysk, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Russian Federation)

EFFECT OF A NEUROFEEDBACK COURSE ON MAXIMAL OXYGEN UPTAKE AND HAEMODYNAMIC PARAMETERS IN HIGH-LEVEL ATHLETES

Neurofeedback based on bioelectrical activity of the brain can serve as an additional means of sports training. However, its effect on the body of athletes is not fully understood. The **aim** of this paper was to evaluate the effect of a neurofeedback course on high-level athletes based on maximal oxygen uptake and haemodynamics. **Materials and methods.** A placebo-controlled study of the effects of a neurofeedback course was conducted, involving 102 high-level athletes of both sexes (mean age 20.2 ± 1.8 years) with mean levels of spectral power of heart rate variability in the VLF, LF, and HF ranges.

The main group included 69 subjects, the placebo control group, 33 subjects. The neurofeedback course included 15 sessions and was performed according to the protocol of increasing alpha power in the C₃A₁ lead. **Results.** Statistically significant effects of the neurofeedback course, exceeding the placebo effect, were established: a decrease in diastolic blood pressure and an increase in pulse pressure (PP). Diastolic blood pressure was characterized by an absolute decrease of 2.0 mm Hg in the main group and 0.7 mm Hg in the placebo group, while pulse pressure, by an absolute increase of 1.5 and 0.4 mm Hg, respectively. Moreover, statistically significant changes resulting from the neurofeedback course were identified, which, however, did not exceed the placebo effect: an increase in the mean value of the relative maximal oxygen uptake by 0.30 ml/(min·kg) in the main group and by 0.46 ml/(min·kg) in the placebo group; a decrease in the mean heart rate (HR) by 1.5 and 0.7 min⁻¹, respectively, and a decrease in the mean value of the double product index by 1.9 and 1.1, respectively, without any statistically significant differences between the groups. The neurofeedback course and placebo did not produce statistically significant changes in systolic blood pressure, PP x HR coefficient, and autonomic Kérdő index.

Keywords: neurofeedback, blood pressure, maximal oxygen uptake, heart rate variability, high-level athletes.

Поступила 03.12.2021
Принята 05.05.2022
Received 3 December 2021
Accepted 5 May 2022

Corresponding author: Sergey Ereemeev, address: ul. Mira 40, Khanty-Mansiysk, 628011, Khanty-Mansiyskiy avtonomnyy okrug – Yugra, Russian Federation; e-mail: si.ereemeev@hmgma.ru

For citation: Kormilets V.S., Ereemeeva O.V., Ereemeev S.I. Effect of a Neurofeedback Course on Maximal Oxygen Uptake and Haemodynamic Parameters in High-Level Athletes. *Journal of Medical and Biological Research*, 2022, vol. 10, no. 2, pp. 122–131. DOI: 10.37482/2687-1491-Z095