

## **РЕГУЛЯЦИЯ ВЕГЕТАТИВНЫХ ФУНКЦИЙ СПОРТСМЕНАМИ-ПАРАЛИМПИЙЦАМИ В ХОДЕ КУРСА ИГРОВОГО БИОУПРАВЛЕНИЯ**

*В.В. Кальсина\**

\*Сибирский государственный университет физической культуры и спорта  
(г. Омск)

Максимальное использование функциональных ресурсов организма спортсмена для достижения спортивного результата, не оказывающего негативного воздействия на здоровье, является актуальной задачей медико-биологического обеспечения спортивной деятельности. Спортсмены с поражением опорно-двигательного аппарата (паралимпийцы) представляют собой особую категорию, у многих из них есть отличия в функционировании вегетативной нервной системы, обусловленные основным заболеванием. Актуален поиск методов и технологий совершенствования вегетативной регуляции деятельности паралимпийцев. Методы саморегуляции состояний, основанные на получении сигналов биологической обратной связи, представляют собой современную, неинвазивную, высокоэффективную технологию. Цель исследования – выявление особенностей регуляции вегетативных функций спортсменами-паралимпийцами в ходе курса игрового биоуправления. В работе использован программно-аппаратный комплекс «БОС-Лаб Профессиональный +». Применялся игровой сюжет «Ралли», входящий в программно-аппаратный комплекс «БОС-Пульс». Фотоплетизмографическим способом регистрировалась частота сердечных сокращений, также оценивались показатели variability сердечного ритма. Выявлено, что успешность управления величиной кардиоинтервалов спортсменами с признаками врожденного нарушения опорно-двигательного аппарата (детский церебральный паралич), спортсменами с ампутациями конечностей и здоровыми спортсменами обеспечивается за счет разных компонентов вегетативной регуляции. У паралимпийцев отмечается увеличение общей мощности спектра variability сердечного ритма и усиление активности надсегментарных механизмов вегетативной регуляции, при этом у спортсменов с детским церебральным параличом снижается напряженность высокочастотных колебаний variability сердечного ритма, а у спортсменов, имеющих ампутации конечностей, уменьшается активность симпатических влияний на ритм сердца и усиливается парасимпатикотония. Стратегия достижения успешности курса игрового биоуправления у паралимпийцев носит волнообразный характер, отмечаются длительный «период вработывания» в первой половине курса, резкий процентный прирост успешности управления величиной кардиоинтервалов в середине курса и снижение прироста успешности по данному показателю к концу курса.

**Ключевые слова:** вегетативная регуляция, адаптивный спорт, спортсмены-паралимпийцы, функциональные ресурсы организма, игровое биоуправление.

**Ответственный за переписку:** Кальсина Виктория Владиславовна, адрес: 644009, г. Омск, ул. Масленникова, д. 144; e-mail: victoria\_vk@mail.ru

**Для цитирования:** Кальсина В.В. Регуляция вегетативных функций спортсменами-паралимпийцами в ходе курса игрового биоуправления // Журн. мед.-биол. исследований. 2019. Т. 7, № 2. С. 195–204. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.2.195

Мобилизация и использование функциональных резервов организма, а также совершенствование уже имеющихся механизмов регуляции, направленных на достижение конечного спортивного результата, имеют особое значение для спортсменов-паралимпийцев.

Возможности произвольного регулирования деятельности с помощью вегетативной нервной системы часто используются в качестве маркера способности организма к адаптации [1]. Для регуляции деятельности в спорте этот показатель имеет ведущее значение [2, 3]. В последние годы в процесс подготовки спортсменов все активнее внедряются различные методы обучения управлению сердечным ритмом [4].

С.И. Сороко и В.В. Трубачев отмечают, что психофизиологическая сущность метода адаптивного биоуправления состоит в организации на основе биологической обратной связи (БОС) от какого-либо физиологического параметра дополнительного сенсорно-когнитивного контроля над физиологическим процессом с последующим формированием произвольного регулирования конкретной функции организма [5].

Игровое биоуправление, представляя собой достаточно новое методологическое направление БОС-технологий [6], требует от участника не только умения «включиться в игру», но и понимания, за счет каких основных закономерностей выстраиваются взаимосвязи между собственными эмоциями и физиологическими параметрами [7].

Интенсивное развитие биоуправления по показателям variability сердечного ритма и его положительные эффекты подтверждаются многими специалистами, поэтому данные технологии включаются в программы коррекции функционального состояния личности [8]. М. Sakakibara et al. [9] отмечают длительные положительные эффекты тренировок БОС по variability сердечного ритма: данный вид биоуправления активизирует нейрогумораль-

ные механизмы регуляции гомеостаза и афферентные влияния на лобные зоны коры больших полушарий [10, 11].

У спортсменов-паралимпийцев, имеющих повреждения различных отделов нервной системы, отмечаются в той или иной степени выраженные проявления вегетативной дисфункции и дисрегуляции [12–16], которые необходимо учитывать при построении как тренировочного процесса, так и процесса восстановления спортсменов. Этот факт заставляет специалистов искать новые методы и технологии, позволяющие максимально эффективно использовать функциональные ресурсы организма спортсмена. Одним из направлений данной работы является повышение эффективности саморегуляции паралимпийцев с помощью БОС-технологий.

Цель работы – выявление особенностей регуляции вегетативных функций спортсменами-паралимпийцами в ходе курса игрового биоуправления.

**Материалы и методы.** Обследовано 28 человек в возрасте  $23,7 \pm 1,9$  лет, которые были разделены на группы: 1) спортсмены, имеющие врожденные формы поражения опорно-двигательного аппарата в виде признаков детского церебрального паралича (ДЦП;  $n = 7$ ); 2) спортсмены, имеющие ампутации нижних конечностей ( $n = 9$ ); 3) здоровые спортсмены (группа сравнения,  $n = 12$ ). Все участники исследования занимаются ациклическими видами спорта. Уровень спортивной квалификации – кандидаты в мастера спорта и мастера спорта.

Функциональные возможности спортсменов-паралимпийцев оценивались в соответствии с принятой в паралимпийском спорте функциональной классификацией<sup>1</sup>: у спортсменов с ДЦП (функциональные классы CP7, CP8 согласно классификации Международной ассоциации спорта и рекреации лиц с церебральным параличом, Cerebral Palsy International Sports and Recreation Association – CPISRA)

<sup>1</sup>Функциональная классификация в паралимпийском спорте / авт.-сост. Н.А. Сладкова. М.: Сов. спорт, 2011. 160 с.

имеется минимальное повреждение одной половины тела, могут возникать непровольные спазмы в пораженной кисти или руке, при этом присутствуют хорошие функциональные возможности доминирующей половины тела; спортсмены с ампутациями характеризовались односторонней ампутацией нижней конечности ниже колена (функциональные классы 8, 9, в соответствии с видом спорта).

Критерием включения в исследование являлось добровольное информированное согласие, критериями исключения из исследования – отказ от участия, наличие острых заболеваний или обострение хронических, отсутствие регулярных тренировочных нагрузок. Исследование проводилось в соответствии с этическими стандартами, соответствующими Хельсинкской декларации Всемирной Медицинской Ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека». Всем участникам была предоставлена полная и достоверная информация о проводимых мероприятиях.

Для проведения игровых сессий биоуправления применялся программно-аппаратный комплекс «БОС-Лаб Профессиональный +», изготовленный в Научно-исследовательском институте молекулярной биологии и биофизики (НИИМББ, г. Новосибирск). Использовался игровой сюжет «Ралли», входящий в программно-аппаратный комплекс «БОС-Пульс» (НИИМББ, г. Новосибирск). В качестве регулируемого параметра была выбрана частота сердечных сокращений (ЧСС). В ходе сессий осуществлялась регистрация ЧСС (фотоплетизмографическим способом с концевой фаланги указательного пальца тестируемого), последовательности RR-интервалов (длительность кардиоинтервалов, мс), RT-интервалов (время сенсомоторной реакции на движущийся объект, мс).

Согласно данным И.А. Святогор и И.А. Моховиковой, под успешностью биоуправления понимается степень сдвига регулируемого параметра в заданном направлении [17]. Оценка успешности и выявление особенностей дина-

мики вегетативной регуляции в течение курса биоуправления проводились с использованием спектрального анализа вариабельности сердечного ритма и анализа вариационных характеристик.

Для изучения вегетативной регуляции ритма сердца использовались показатели вариационной пульсометрии: ЧСС, уд./мин; стандартное отклонение RR-интервалов (SDNN, мс), характеризующее общую вариабельность сердечного ритма; коэффициент вариации (сV, %); вариационный размах (dX, мс); мода (Mo, мс), отражающая активность гуморального звена регуляции ритма сердца; среднеквадратичное отклонение продолжительности RR-интервалов (RMSSD, мс), характеризующее высокочастотные компоненты вариабельности; индекс симпатoadреналового тонуса (SAT, усл. ед.) и индекс медленноволновой структуры ритма сердца (LWS, усл. ед.), отражающие стабилизацию ритма сердца.

Анализировались спектральные характеристики вариабельности сердечного ритма: общая мощность спектра (TP, мс); высокочастотные (HF, %), низкочастотные (LF, %), очень низкочастотные (VLF, %) колебания; индекс вагосимпатического взаимодействия (LF/HF, усл. ед.). Интерпретация полученных данных была основана на имеющихся в литературе сведениях о связи HF-колебаний с вагусным контролем сердечного ритма, LF-колебаний – с активностью преимущественно симпатической части вегетативной нервной системы, а VLF-компонента – с надсегментарными механизмами вегетативной регуляции [1, 2].

Оценка показателей вариабельности сердечного ритма осуществлялась автоматически при помощи аппаратно-программного комплекса «БОС-Лаб Профессиональный +», по стандартным протоколам, в течение 5 мин (после каждой сессии биоуправления).

Курс игрового биоуправления включал 15 ежедневных сессий (продолжительностью 20 мин каждая) по 6 попыток. Сеансы игрового биоуправления проводились 1 раз в сутки,

в удобное для обследуемых время, до спортивной тренировки. Исследование осуществлялось в подготовительный период годового цикла спортивной подготовки, характеризующийся выполнением физических нагрузок средней интенсивности преимущественно в смешанной зоне энергообеспечения.

Статистическая обработка результатов исследования осуществлялась при помощи пакета статистических программ Microsoft Excel 2003 и Statistica v. 6. Результаты представлены в виде среднего значения и стандартной ошибки ( $M \pm m$ ). Проверка на нормальность распределения проводилась с использованием критерия Колмогорова–Смирнова. Значимость различий определялась с помощью непараметрических критериев Вилкоксона и Манна–Уитни для парных сравнений (критический уровень значимости  $p < 0,05$ ).

**Результаты.** Оценка фоновых характеристик вегетативной регуляции показала, что у спортсменов с ДЦП (1-я группа) присутствуют статистически значимые отличия (табл. 1), которые проявляются в виде высокой активности парасимпатического звена регуляции

(по показателям  $M_0$ , SDNN, RMSSD), низких показателей variability сердечного ритма (SAT, LWS) и низкой общей мощности спектра ( $TP = 1794,8 \pm 234,1$  мс). Отличительными особенностями спортсменов 2-й группы являлись проявления компенсированного дистресса ( $SI = 137,6 \pm 21,3$  усл. ед.;  $p < 0,05$ ) и сниженная общая мощность спектра ( $TP = 2395,6 \pm 178,3$  мс).

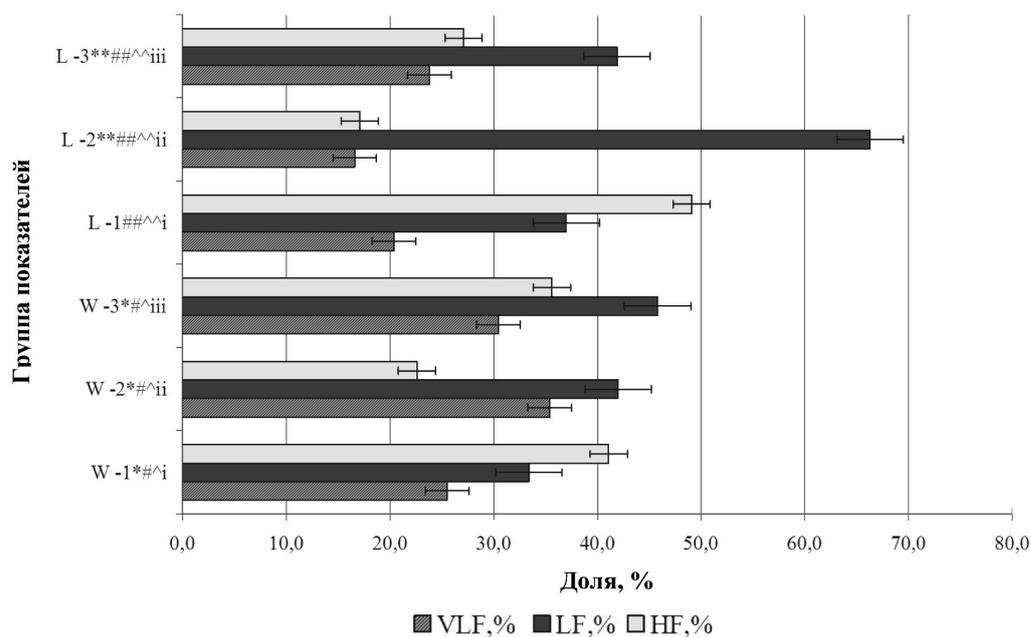
Для решения вопроса о преобладающем характере вегетативной регуляции в ходе курса игрового биоуправления и выявления ведущих факторов, обеспечивающих успешность сессий, был проведен спектральный анализ показателей variability сердечного ритма (рис. 1). У спортсменов 1-й группы структура спектра в успешных и неуспешных попытках незначительно отличалась, индекс вагосимпатического взаимодействия практически не менялся ( $LF/HF = 0,8 \pm 0,09$  усл. ед.), преобладали HF-колебания, обеспечивающие вагусный контроль сердечного ритма ( $HF < LF < VLF$ ). В течение курса тренинга у этих спортсменов отмечалось изменение характера связей между компонентами спектра. В успешных

Таблица 1

**ФОНОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВРЕМЕННОГО И СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА  
ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У СПОРТСМЕНОВ-ПАРАЛИМПИЙЦЕВ ( $M \pm m$ )**

Показатель	1-я группа (n = 7)	2-я группа (n = 9)	3-я группа (n = 12)
SDNN, мс	75,7±22,3*	42,0±4,6	42,6±11,9
cV, %	12,5±3,8*	5,3±2,2	4,9±1,8
dX, мс	734,0±126,4*	223,1±54,1	226,1±36,1 <sup>#</sup>
$M_0$ , мс	614,9 ±28,3*	790,1±24,4	865,1±82,3 <sup>#</sup>
RMSSD, мс	105,8±15,2*	30,1±4,8	34,1±9,3 <sup>#</sup>
ЧСС, уд./мин	61,7±8,4	86,6±5,2	75,6±4,9
TP, мс	1794,8±234,1	2395,6±178,3	3250,6±154,9 <sup>#</sup>
SAT, усл. ед.	75,1±16,3*	248,1±71,9	230,1±57,9 <sup>#</sup>
LWS, усл. ед.	5,6±1,9*	48,5±4,9	43,3±12,1 <sup>#</sup>
SI, усл. ед.	71,5±24,1*	137,6±21,3	116,3±27,9

*Примечание.* Установлена статистическая значимость отличий ( $p < 0,05$ ): \* – между 1-й и 2-й группами; <sup>#</sup> – между 1-й и 3-й группами.



**Рис. 1.** Структура спектра variability сердечного ритма у обследованных спортсменов в ходе сессий игрового биоуправления: W – успешные сессии; L – неуспешные сессии; 1–3 – группы спортсменов; установлена статистическая значимость различий ( $p < 0,05$ ): \* – между группами W1 и W2, W3 по VLF-компоненту, # – между группами W1 и W2, W3 по LF-компоненту, ^ – между группами W1 и W2, W2 и W3, W1 и W3 по HF-компоненту; \*\* – между группами L1 и L3 по VLF-компоненту, ## – между группами L1 и L2, L2 и L3, L1 и L3 по LF-компоненту, ^^ – между группами L1 и L2, L2 и L3, L1 и L3 по HF-компоненту; i – между группами W1 и L1 по VLF- и HF-компонентам, ii – между группами W2 и L2 по VLF-, LF-, HF-компонентам, iii – между группами W3 и L3 по VLF- и HF-компонентам

попытках происходило значимое снижение доли HF-компонента и увеличение доли VLF-компонента ( $p < 0,05$ ).

В группе спортсменов, имеющих ампутации конечностей, структура спектра в успешных и неуспешных попытках значимо различалась. В случае успешного выполнения задания структура спектра носила более гармоничный характер и обеспечивалась за счет взаимодействия активности симпатического отдела и надсегментарных механизмов вегетативной регуляции (успешные попытки:  $LF < VLF < HF$ ; неуспешные попытки:  $LF < HF < VLF$  ( $p < 0,05$ )). В неуспешных попытках значительно преобладали LF-волны ( $p < 0,05$ ) и была снижена общая мощность спектра ( $TP = 1956,9 \pm 358,4$  мс). Ин-

декс вагосимпатического взаимодействия в неуспешных попытках составил  $4,1 \pm 0,06$  усл. ед., а в успешных –  $2,0 \pm 0,04$  усл. ед.

У спортсменов группы сравнения во всех сессиях преобладающими являлись LF-волны. Успешность обеспечивалась за счет снижения надсегментарных влияний, увеличения вклада HF-компонента ( $p < 0,05$ ) и роста мощности спектра во всех диапазонах. Индекс вагосимпатического взаимодействия в неуспешных попытках составил  $1,3 \pm 0,09$  усл. ед., а в успешных –  $1,8 \pm 0,07$  усл. ед.

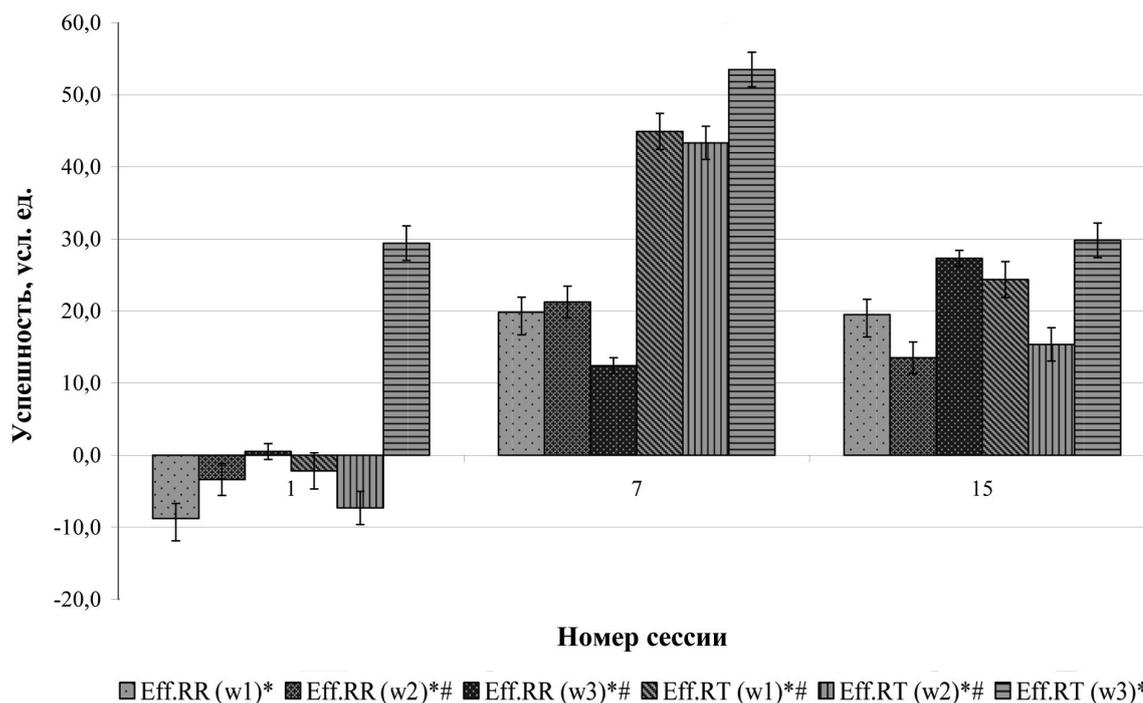
Оценка динамики успешности управления величиной кардиоинтервалов в течение курса игрового биоуправления показала, что спортсмены 1-й и 2-й групп применяют сходную

стратегию формирования навыка управления показателями сердечного ритма, которая значительно отличается от стратегии, используемой спортсменами группы сравнения. У паралимпийцев в первой половине курса отмечался длительный период, характеризующийся медленным ростом успешности. Основываясь на исследованиях Р.М. Баевского [1], можно предположить, что в этот период происходит адаптационная перенастройка процессов регуляции. Во всех трех группах после 12-13-й сессии отмечалось снижение результатов, возможно, связанное с развитием процессов утомления в нервной системе [5].

Анализ структуры успешности сессий по управлению величиной кардиоинтервалов позволил выявить степень прироста результатов

и сохранение эффекта тренинга. Установлены статистически значимые различия по характеру управления кардиоинтервалами и времени сенсомоторной реакции (рис. 2).

Наиболее высокий прирост результатов по величине кардиоинтервалов отмечался в группе сравнения в первой половине курса (98,1%), но при этом во второй половине курса в этой же группе выявлено снижение прироста почти в два раза (54,6%). У спортсменов с ДЦП отмечалось увеличение процентного прироста результатов по сравнению с исходным на 83,4% в первой половине курса, но во второй части курса в этой группе установлено снижение показателей на 36,3%. Наиболее стабильные результаты выявлены у спортсменов, имеющих ампутации конечностей: продемон-



**Рис. 2.** Успешность сессий игрового биоуправления у обследованных спортсменов: Eff.RR(W) – эффективность управления кардиоинтервалами; Eff.RT(W) – эффективность управления скоростью реакции; 1–3 – группы спортсменов; установлена статистическая значимость различий ( $p < 0,05$ ): \* – между 1-й и 7-й сессиями по показателям Eff.RR(W1–3) и Eff.RT(W1–3); # – между 7-й и 15-й сессиями по показателям Eff.RR(W2, 3) и Eff.RT(W1–3)

стрировав прирост результата на 56,3 % в первой половине курса, они смогли сохранить его на прежних позициях практически до конца, убыль составила 2 %.

Наиболее легко у спортсменов всех групп формировался навык управления временем сенсомоторной реакции на движущийся объект, но к концу курса игрового биоуправления отмечалось значительное снижение успешности управления этим показателем.

**Обсуждение.** Успешность управления величиной кардиоинтервалов за курс игрового биоуправления в нашем исследовании составила  $47,1 \pm 2,1$ ;  $54,3 \pm 1,8$  и  $43,1 \pm 2,2$  % у спортсменов 1-, 2- и 3-й групп соответственно.

Положительное влияние адаптивной БОС на регулирующие системы организма, в т. ч. и на вегетативную нервную систему, описано многими специалистами [18, 19]. Полученные нами данные согласуются с результатами, представленными в работе Л.П. Черепкиной [19], у всех спортсменов в течение курса игрового биоуправления отмечаются преобладание парасимпатических влияний и формирование адаптивных перестроек вегетативной регуляции.

Достижение положительного результата по управлению параметрами сердечной деятельности спортсменами-паралимпийцами уже в первой половине курса биоуправления согласуется с данными С.И. Сороко и В.В. Трубачева [5] о возможности прогноза успешности курса биоуправления уже к 3-4-му сеансу. Однако в силу наличия вегетативной дисфункции у спортсменов с ДЦП формирование стойкого навыка управления сердечным ритмом и адаптивных перестроек в вегетативной нервной системе требует больше времени, чем у спортсменов с ампутациями конечностей и здоровых спортсменов. Снижение показателей успешности во всех группах к концу курса, возможно, объясняется утомлением нервной системы.

Таким образом, в ходе курса игрового биоуправления по величине кардиоинтервалов у спортсменов-паралимпийцев отмечается ряд высокозначимых статистических различий. У спортсменов с ДЦП увеличиваются возможности variability сердечного ритма, общая мощность спектра, соотношение компонентов спектра приобретает более гармоничный характер, снижается доля вагусного контроля; у спортсменов, имеющих ампутации конечностей, уменьшается уровень стрессорного напряжения, возрастает парасимпатикотония.

Успешность курса игрового биоуправления по величине частоты сердечных сокращений у спортсменов-паралимпийцев обеспечивается за счет активизации надсегментарных механизмов регуляции. Однако, в зависимости от преобладающего характера изменений в деятельности вегетативной нервной системы, обусловленных основным заболеванием, в каждой группе выявлены свои особенности. У спортсменов с ДЦП успешность курса обеспечивается за счет снижения напряженности высокочастотных колебаний спектра вегетативной регуляции (HF-волн), а у спортсменов, имеющих ампутации конечностей, – за счет активизации низкочастотных колебаний спектра (LF-волн).

Формирование навыка управления величиной кардиоинтервалов, сопровождающееся адаптивными перестройками в деятельности вегетативной нервной системы, у спортсменов-паралимпийцев происходит волнообразно и характеризуется медленным процентным приростом успешности в первой половине курса, значительным приростом результатов в середине и снижением процентного прироста успешности к концу курса.

**Конфликт интересов.** Возможность конфликта интересов отсутствует.

### Список литературы

1. Баевский Р.М. Концепция физиологической нормы и критерии здоровья // Рос. физиол. журн. 2003. Т. 89, № 4. С. 473–487.
2. Шлык Н.И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2009. 259 с.
3. Bellenger C.R., Fuller J.T., Thomson R.L., Davison K., Robertson E.Y., Buckley J.D. Monitoring Athletic Training Status Through Autonomic Heart Rate Regulation: A Systematic Review and Meta-Analysis // Sports Med. 2016. Vol. 46, № 10. P. 1461–1486. DOI: 10.1007/s40279-016-0484
4. Coates A.M., Hammond S., Burr J.F. Investigating the Use of Pre-Training Measures of Autonomic Regulation for Assessing Functional Overreaching in Endurance Athletes // Eur. J. Sport Sci. 2018. Vol. 18, № 7. P. 965–974. DOI: 10.1080/17461391.2018.1458907
5. Сороко С.И., Трубочев В.В. Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного биоуправления / Ин-т эволюц. физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН. СПб.: Политехника-сервис, 2010. 607 с.
6. Савченко В.В. Методологические аспекты игрового биоуправления // Бюл. СО РАМН. 2004. № 3(113). С. 61–64.
7. Левицкая Т.Е., Богомаз С.А., Козлова Н.В., Лучиди Ф., Атаманова И.В., Тренькаева Н.А., Щеглова Э.А. Развитие навыков саморегуляции у спортсменов высших достижений // Сибир. психол. журн. 2016. № 60. С. 130–147. DOI: 10.17223/17267080/60/10
8. Lehrer P.M. Heart Rate Variability Biofeedback and Other Psychophysiological Procedures as Important Elements in Psychotherapy // Int. J. Psychophysiol. 2018. Vol. 131. P. 89–95. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2017.09.012
9. Sakakibara M., Hayano J., Oikawa L.O., Katsamanis M., Lehrer P. Heart Rate Variability Biofeedback Improves Cardiorespiratory Resting Function During Sleep // Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 2013. Vol. 38, № 4. P. 265–271. DOI: 10.1007/s10484-013-9232-7
10. Lehrer P.M., Gevirtz R. Heart Rate Variability Biofeedback: How and Why Does It Work? // Front. Psychol. 2014. Vol. 5. Art. № 756. DOI: 10.3389/fpsyg.2014.00756
11. Lehrer P., Eddie D. Dynamic Processes in Regulation and Some Implications for Biofeedback and Biobehavioral Interventions // Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 2013. Vol. 38, № 2. P. 143–155. DOI: 10.1007/s10484-013-9217-6
12. Krassioukov A. Autonomic Dysreflexia: Current Evidence Related to Unstable Arterial Blood Pressure Control Among Athletes with Spinal Cord Injury // Clin. J. Sport Med. 2012. Vol. 22, № 1. P. 39–45. DOI: 10.1097/JSM.0b013e3182420699
13. Krassioukov A., West C. The Role of Autonomic Function on Sport Performance in Athletes with Spinal Cord Injury // PM R. 2014. № 6, suppl. 8. P. S58–S65. DOI: 10.1016/j.pmrj.2014.05.023
14. Cruz S., Blauwet C.A. Implications of Altered Autonomic Control on Sports Performance in Athletes with Spinal Cord Injury // Auton. Neurosci. 2018. Vol. 209. P. 100–104. DOI: 10.1016/j.autneu.2017.03.006
15. Bragaru M., Dekker R., Geertzen J., Dijkstra U. Amputees and Sports: A Systematic Review // Sports Med. 2011. Vol. 41, № 9. P. 721–740.
16. Гаврилова Е.А., Чурганов О.А., Шелков О.М. Анализ регуляции сердечно-сосудистой системы у лыжников с ампутацией конечностей // Адаптив. физ. культура. 2012. № 3(51). С. 38–40.
17. Святогор И.А., Моховикова И.А. Нейрофизиологические, психологические и клинические аспекты биоуправления потенциалами мозга у больных с дезадаптационными расстройствами // Биоуправление – 4: теория и практика. Новосибирск: ЦЭРИС, 2002. С. 44–50.
18. Базанова О.М., Вернон Д., Муравлёва К.Б., Скорая М.В. Влияние альфа-, ЭМГ-биоуправления и техник произвольной саморегуляции на показатели вариабельности сердечного ритма // Бюл. сибир. медицины. 2013. Т. 12, № 2. С. 43–51.
19. Черепкина Л.П. Изменение показателей вариабельности ритма сердца в течение курса нейробиоуправления у спортсменов разной квалификации // Бюл. сибир. медицины. 2013. Т. 12, № 2. С. 234–240.

## References

1. Baevskiy R.M. Kontsepsiya fiziologicheskoy normy i kriterii zdorov'ya [The Concept of Physiological Norm and Health Criteria]. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal*, 2003, vol. 89, no. 4, pp. 473–487.
2. Shlyk N.I. *Serdechnyy ritm i tip regulyatsii u detey, podrostkov i sportsmenov* [Heart Rate and Type of Regulation in Children, Adolescents and Athletes]. Izhevsk, 2009. 259 p.
3. Bellenger C.R., Fuller J.T., Thomson R.L., Davison K., Robertson E.Y., Buckley J.D. Monitoring Athletic Training Status Through Autonomic Heart Rate Regulation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.*, 2016, vol. 46, no. 10, pp. 1461–1486. DOI: 10.1007/s40279-016-0484
4. Coates A.M., Hammond S., Burr J.F. Investigating the Use of Pre-Training Measures of Autonomic Regulation for Assessing Functional Overreaching in Endurance Athletes. *Eur. J. Sport Sci.*, 2018, vol. 18, no. 7, pp. 965–974. DOI: 10.1080/17461391.2018.1458907
5. Soroko S.I., Trubachev V.V. *Neyrofiziologicheskie i psikhofiziologicheskie osnovy adaptivnogo bioupravleniya* [Neurophysiological and Psychophysiological Bases of Adaptive Biofeedback]. St. Petersburg, 2010. 607 p.
6. Savchenko V.V. Metodologicheskie aspekty igrovogo bioupravleniya [Methodological Aspects of Game Biofeedback]. *Byulleten' SO RAMN*, 2004, no. 3, pp. 61–64.
7. Levitskaya T.E., Bogomaz S.A., Kozlova N.V., Luchidi F., Atamanova I.V., Tren'kaeva N.A., Shcheglova E.A. Razvitiye navykov samoregulyatsii u sportsmenov vysshikh dostizheniy [Developing Self-Regulation Skills in High Level Sport Athletes]. *Sibirskiy psikhologicheskiy zhurnal*, 2016, no. 60, pp. 130–147. DOI: 10.17223/17267080/60/10
8. Lehrer P.M. Heart Rate Variability Biofeedback and Other Psychophysiological Procedures as Important Elements in Psychotherapy. *Int. J. Psychophysiol.*, 2018, vol. 131, pp. 89–95. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2017.09.012
9. Sakakibara M., Hayano J., Oikawa L.O., Katsamanis M., Lehrer P. Heart Rate Variability Biofeedback Improves Cardiorespiratory Resting Function During Sleep. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*, 2013, vol. 38, no. 4, pp. 265–271. DOI: 10.1007/s10484-013-9232-7
10. Lehrer P.M., Gevirtz R. Heart Rate Variability Biofeedback: How and Why Does It Work? *Front. Psychol.*, 2014, vol. 5. Art. no. 756. DOI: 10.3389/fpsyg.2014.00756
11. Lehrer P., Eddie D. Dynamic Processes in Regulation and Some Implications for Biofeedback and Biobehavioral Interventions. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*, 2013, vol. 38, no. 2, pp. 143–155. DOI: 10.1007/s10484-013-9217-6
12. Krassioukov A. Autonomic Dysreflexia: Current Evidence Related to Unstable Arterial Blood Pressure Control Among Athletes with Spinal Cord Injury. *Clin. J. Sport Med.*, 2012, vol. 22, no. 1, pp. 39–45. DOI: 10.1097/JSM.0b013e3182420699
13. Krassioukov A., West C. The Role of Autonomic Function on Sport Performance in Athletes with Spinal Cord Injury. *PM R*, 2014, no. 6, suppl. 8, pp. S58–S65. DOI: 10.1016/j.pmrj.2014.05.023
14. Cruz S., Blauwet C.A. Implications of Altered Autonomic Control on Sports Performance in Athletes with Spinal Cord Injury. *Auton. Neurosci.*, 2018, vol. 209, pp. 100–104. DOI:10.1016/j.autneu.2017.03.006
15. Bragaru M., Dekker R., Geertzen J.H., Dijkstra P.U. Amputees and Sports: A Systematic Review. *Sports Med.*, 2011, vol. 41, no. 9, pp. 721–740.
16. Gavrilova E.A., Churganov O.A., Shelkov O.M. Analiz regulyatsii serdechno-sosudistoy sistemy u lyzhnikov s amputatsiyey konechnostey [Analysis of the Regulation of the Cardiovascular System in Skiers with Amputation of Limbs]. *Adaptivnaya fizicheskaya kul'tura*, 2012, no. 3, pp. 38–40.
17. Svyatogor I.A., Mokhovikova I.A. Neyrofiziologicheskie, psikhologicheskie i klinicheskie aspekty bioupravleniya potentsialami mozga u bol'nykh s dezadaptatsionnymi rassstroystvami [Neurophysiological, Psychological and Clinical Aspects of Biofeedback of Brain Potentials in Patients with Maladaptive Disorders]. *Bioupravlenie – 4: teoriya i praktika* [Biofeedback – 4: Theory and Practice]. Novosibirsk, 2002, pp. 44–50.
18. Bazanova O.M., Vernon D., Muravleva K.B., Skoraya M.V. Vliyanie al'fa-, EMG-bioupravleniya i tekhnik proizvol'noy samoregulyatsii na pokazateli variabel'nosti serdechnogo ritma [Influence of AlphaEEG/EMG Biofeedback and Voluntary Self-Regulation Techniques on Heart Rate Variability Indices]. *Byulleten' sibirskoy meditsiny*, 2013, vol. 12, no. 2, pp. 43–51.
19. Cherapkina L.P. Izmenenie pokazateley variabel'nosti ritma serdtsa v techenie kursa neyrobioupravleniya u sportsmenov raznoy kvalifikatsii [Changes in Heart Rate Variability Indices During Neurofeedback in Athletes of Different Qualifications]. *Byulleten' sibirskoy meditsiny*, 2013, vol. 12, no. 2, pp. 234–240.

*Viktoriya V. Kal'sina\**

\*Siberian State University of Physical Education and Sport  
(Omsk, Russian Federation)

### REGULATION OF AUTONOMIC FUNCTIONS BY PARALYMPIANS DURING A COURSE OF GAME BIOFEEDBACK

Maximum use of the body's functional resources to achieve a certain result in sports without producing a negative impact on health is an important task of medical and biological support of sports activities. Athletes with musculoskeletal disorders (Paralympians) represent a special category; many of them have some specific features of the autonomic nervous system due to a primary condition. Therefore, it is of particular importance to search for methods and technologies able to improve their autonomic regulation. Self-regulation methods based on biofeedback are a modern, non-invasive and highly effective technology. This research aimed to identify special features of the regulation of autonomic functions by Paralympians during a course of game biofeedback. We applied BOS-Lab Professional+ software and hardware system and the game story "Rally" included in BOS-Pulse software and hardware system. Heart rate was recorded using the photoplethysmographic method; heart rate variability (HRV) indices were measured. We found that successful control of the duration of ECG intervals in athletes with cerebral palsy, athletes with limb amputations and healthy athletes is ensured by different components of autonomic regulation. Paralympians demonstrated an increase in the total power of HRV spectrum and greater activity of the suprasegmental mechanisms of autonomic regulation. At the same time, athletes with cerebral palsy showed a reduction in intensity of high-frequency oscillations of HRV, while athletes with limb amputations showed a decrease in the sympathetic effects on heart rhythm and an increase in parasympathictonia. The strategy of achieving success in game biofeedback by Paralympians is undulatory, with a long "warming up" period in the first half of the course, a rapid percentage growth in the success rate of control of the duration of ECG intervals in the middle of the course and a decrease in that success rate by the end of the course.

**Keywords:** *autonomic regulation, adaptive sports, Paralympians, body's functional resources, game biofeedback.*

Поступила 24.10.2018

Принята 15.02.2019

Received 24 October 2018

Accepted 15 February 2019

---

**Corresponding author:** Viktoriya Kal'sina, *address:* ul. Maslennikova 144, Omsk, 644009, Russian Federation; *e-mail:* victoria\_vk@mail.ru

**For citation:** Kal'sina V.V. Regulation of Autonomic Functions by Paralympians During a Course of Game Biofeedback. *Journal of Medical and Biological Research*, 2019, vol. 7, no. 2, pp. 195–204. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.2.195