Дата публикации: 01.03.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_01_10
УДК 612.017.2

Publication date: 01.03.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_01_10
UDC 612.017.2

САМООРГАНИЗАЦИЯ НЕЙРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ У СПОРТСМЕНОВ ПРИ БОС-ТРЕНИНГЕ ПО β-РИТМУ ГОЛОВНОГО МОЗГА РАЗЛИЧНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ

Н.В. Лунина[1,2], Ю.В. Корягина[2]

[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», г. Москва, Россия

[2]Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», г. Ессентуки, Россия

Аннотация. Представлены результаты количественного и качественного вклада регулирующего влияния нервной системы различного уровня на функционирование системы кровообращения, отражающие самоорганизацию нейродинамических процессов у спортсменов под влиянием нейробиоуправления по бета-ритму головного мозга различной продолжительности. Корреляционный анализ с учетом количественных и качественных взаимосвязей между изучаемыми показателями центральной и вегетативной нервной системы позволил исследовать самоорганизацию нейродинамических процессов, определить степень и характер вклада в регуляцию уровня корково-подкорковых взаимоотношений на функционирование системы кровообращения спортсменов, определить коэффициент эффективности адаптации системы кровообращения на начальном, промежуточном (середина курса) и заключительном этапах курсового применения нейробиоуправления по бета-ритму головного мозга. Динамика самоорганизации нейродинамических процессов в межуровневом взаимодействии центральной и вегетативной нервных систем в ходе нейробиоуправления отражалась изменением числа (n) умеренных и сильных взаимодействий и значений коэффициента эффективности адаптации (КЭА) в начале курса (n=22, КЭА=0,27 усл.ед.), в середине курса (n=25, КЭА=0,24 усл.ед.), в конце курса (n=40, КЭА=0,48 усл.ед.) нейробиоуправления.

Ключевые слова: спортсмены, нейробиоуправление, ритмы головного мозга, вегетативная нервная система, вариабельность сердечного ритма, корреляционный анализ, взаимосвязи, коэффициент эффективности адаптации, нейропластичность, самоорганизация, нейродинамические процессы.

SELF-ORGANIZATION OF NEURODYNAMIC PROCESSES IN ATHLETES DURING BIOFEEDBACK TRAINING OF BRAIN BETA RHYTHM OF DIFFERENT DURATION

N.V. Lunina[1,2], Yu.V. Koryagina[2]

[1]Russian University of Sports “GTSOLIFK”, Moscow, Russia

[2]FSBI “North-Caucasian Federal Research and Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency”, Essentuki, Russia

Abstract. The results of the quantitative and qualitative contribution of the regulatory influence of the nervous system of various levels on the functioning of the circulatory system are presented, reflecting the self-organization of neurodynamic processes in athletes under the influence of neurobiofeedback of brain beta rhythm of various duration. Correlation analysis, taking into account quantitative and qualitative connections between the studied parameters of the central and autonomic nervous system, made it possible to investigate the self-organization of neurodynamic processes, determine the degree and nature of the contribution to the regulation of the level of cortical-subcortical interactions on the functioning of the circulatory system of athletes, determine the coefficient of efficiency of adaptation of the circulatory system at the initial, intermediate (middle of the course) and the final stage of the course application of neurofeedback of brain beta rhythm. The changes of self-organization of neurodynamic processes in the interlevel interaction of the central and autonomic nervous systems during neurofeedback was reflected by a change in

the number (n) of moderate and strong interactions and the values of the adaptation efficiency coefficient (CEA) at the beginning of the course (n=22, CEA=0.27 c.u.), in the middle of the course (n=25, CEA=0.24 c.u.), at the end of the course (n=40, CEA=0.48 c.u.).
Keywords: athletes, neurofeedback, brain rhythms, autonomic nervous system, heart rate variability, correlation analysis, relationships, adaptation efficiency coefficient, neuroplasticity, self-organization, neurodynamic processes.

Введение. Организм человека представляет собой сложную систему, состоящую из множества морфо-функциональных иерархически выстроенных систем и подсистем, динамически и функционально изменяющихся под воздействием внешних факторов [1-3].

Спортивную деятельность относят к разряду экстремальных ввиду специфики ее содержания, сопряженного с огромным числом факторов физического, психологического, социально-экономического и прочего характера, воздействующих на организм спортсмена [3-5]. Успешная адаптация к изменяющимся условиям и факторам во многом является определяющей и детерминирующей как функционирование организма спортсмена, так и успешность соревновательной деятельности в целом [3-7].

О степени адаптированности организма судят по показателям физиологических систем в ответ на производимое воздействие с учетом количественных и качественных характеристик физиологического ответа [5, 7, 8, 9].

Исходя из теории функциональных систем, центральным системообразующим фактором каждой функциональной системы является результат ее деятельности, детерминирующие оптимальные условия поддержания метаболических процессов для организма в целом [1, 2, 3, 8, 9]. Организм человека как целое или его функциональные системы, формирующиеся под обеспечение какой-либо деятельности, относят к сложным системам, центральным свойством которых являются взаимодействия их компонентов на разных уровнях, реализующих характерные для них саморегуляторные механизмы и адаптационные стратегии [1, 2, 7, 9]. Детальное изучение отдельных совокупностей взаимосвязей дает представление о межсистемных адаптационных перестройках в функционировании организма или его систем в динамике под влиянием различных воздействий или факторов [1-3, 7-11]. В связи с этим, представляет интерес количественная оценка межсистемных адаптационных перестроек в самоорганизации нейродинамических процессов спортсменов при БОС-стимулирующем тренинге по бета-ритму головного мозга различной продолжительности. Анализ этих данных позволит оценить уровень, качество функционирования организма спортсмена на различных этапах тренировочного процесса под воздействием факторов внешней среды и применения средств восстановления педагогического, психологического или медико-биологического характера [12-13].

Цель работы – провести анализ межсистемных адаптационных перестроек (по данным корреляционного анализа) в самоорганизации нейродинамических процессов спортсменов на разных этапах курса БОС-стимулирующего тренинга по бета-ритму головного мозга.

Методы и организация исследования. В исследовании включили спортсменов циклических, ациклических и игровых видов спорта (n=1020), юношей в возрасте 18-22 лет на подготовительном этапе годичного тренировочного цикла. Многолетние исследования проводились на базах НИИ «Деятельности в экстремальных условиях» СибГУФК (г. Омск), ОмГУ им. Ф.М. Достоевского (г. Омск), СибАДИ (г. Омск), РГУФКСМиТ (РУС «ГЦОЛИФК») (г. Москва), ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России (г. Ессентуки).

Исследование проводилось с одобрения локального этического комитета ФГБУ

СКФНКЦ ФМБА России (протокол №1 от 10.02.2022 г). Все участники дали информированное 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).

Изучение показателей центральной нервной системы проводили по динамике ведущих ритмов головного мозга: альфа- (α), бета- (β), тета- (θ) ритмов в абсолютных (мкВ) и относительных (%) значениях, полученных в ходе β-тренинга на аппаратно-программном комплексе «БОСЛАБ» (г. Новосибирск) по методике, указанной в ранее представленных работах [14-15].

Регулирующее влияние вегетативной нервной системы на функционирование системы кровообращения спортсменов оценивалось по анализу волновой (спектральной) структуры ритма сердца: общая мощность спектра (TP, mc²), спектральный анализ волновой структуры с оценкой спектральной мощности волн высокой (HF), низкой (LF) и очень низкой частоты (VLF), коэффициент вегетативного равновесия LF/HF [4, 6, 16, 17]. Показатели изучались в процессе проведения БОС-тренинга по β-ритму головного мозга в начале курса (1-й сеанс), в середине курса (5-й сеанс), в конце курса (10-й сеанс).

Статистическую обработку полученных результатов проводили с помощью пакета программ Statistica 13.0. Определялся коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Учитывались связи между изучаемыми показателями умеренной ($r \geq 0,3$) и высокой ($r \geq 0,6$) силы вне зависимости от направленности взаимодействия (положительные и отрицательные), подсчитывалось общее число учитываемых взаимодействий, определяли коэффициент эффективности адаптации (КЭА) [7-11] как отношение сильных корреляционных связей к общему числу учитываемых связей между показателями изучаемых систем в процессе нейробиоуправления: в начале, в середине и в конце курса БОС-тренинга по β-ритму.

Результаты исследования и их обсуждение. На начальном этапе нейробиоуправления по β-ритму (1-й сеанс) выявлено 22 взаимосвязи между рассматриваемыми показателей центральной и вегетативной нервных систем, из которых 16 средней и 6 высокой силы взаимодействия. Коэффициент эффективности адаптации (КЭА=0,27 усл.ед.) отразил низкий уровень напряжения во взаимодействии рассматриваемых систем (табл. 1).

Таблица 1

Корреляционные взаимосвязи ЭЭГ-ритмов с показателями ВСР на начальном этапе курса БОС-тренинге по β-ритму головного мозга

Показатель	α-ритм, %	β-ритм, %	θ-ритм, %	α-ритм, мкВ	β-ритм, мкВ	θ-ритм, мкВ
Период курса БОС-тренинга по β-ритму (сеанс 1)						
TP, mc²			0,31	-0,45	-0,34	-0,39
HF, mc²			0,30	-0,52	-0,35	-0,44
%VLF	-0,37		0,34		0,33	0,39
%LF						0,31
%HF	-0,97	-0,83	0,95	-0,89	-0,77	0,85
LF/HF, усл.ед.				-0,46	-0,45	-0,53

Примечание (здесь и далее): ЭЭГ – электроэнцефалография; БОС – биологически обратная связь; ВСР – вариабельность сердечного ритма; TP – общая мощность спектра; HF – спектральная мощность волн высокой частоты; LF – спектральная мощность волн низкой частоты; VLF – спектральная мощность волн очень высокой частоты; LF/HF – коэффициент вегетативного равновесия

Отмечаются высокие взаимосвязи ЭЭГ-ритмов с показателем HF, отражающим парасимпатические влияния на регуляцию сердечного ритма. Отрицательное взаимодействие показателя HF с высокочастотным β-ритмом головного мозга (β-ритм, % – HF, % – r=-0,83; β-ритм, мкВ – HF, % – r=-0,77) физиологически объяснимы. Имеющаяся сильная положительная связь показателя HF (%) с θ-ритмом (θ-ритм, % – r=0,95; HF, мкВ – r=0,85) сопряжена с медленно-волновой активностью головного мозга, характерной для состояния расслабления и утомления церебрального характера, ассоциированного с явлениями кислородного голодания мозга, которые на первом сеансе нейробиоуправления связаны с повышением мозговой активности, новизной выполняемого задания, поиском стратегии по управлению бета-ритмом в условиях произвольного мышечного расслабления, углублением дыхания. Это подтверждается высокой обратной взаимосвязью показателя HF с α-ритмом (α-ритм, % – HF, % – r=-0,97; α-ритм, мкВ – HF, % – r=-0, 89), что в совокупности может служить ранним индикатором церебрального утомления при выполняемой деятельности.

В середине курса нейробиоуправления по прохождению 5 сеансов увеличивается число общих взаимосвязей (n=25) за счет возрастания взаимосвязей средней силы (n=19) при сохранении общего числа сильных связей (n=6), уменьшается КЭА=0,24 усл.ед, отражающий снижение напряжения во взаимодействии центральной и вегетативной нервных систем (табл. 2).

Таблица 2

Корреляционные взаимосвязи ЭЭГ-ритмов с показателями ВСР в середине курса БОС-тренинге по β-ритму головного мозга

Показатель	α-ритм, %	β-ритм, %	θ-ритм, %	α-ритм, мкВ	β-ритм, мкВ	θ-ритм, мкВ
Период курса БОС-тренинга по β-ритму (сеанс 5)						
TP, mc²			-0,37	0,68	0,49	0,53
VLF, mc²	-0,45	0,94	-0,61		0,85	0,45
LF, mc²			-0,56	0,45		
HF, mc²		-0,31		0,58		0,44
%VLF				-0,62		-0,65
%LF		0,42	-0,36			
%HF			-0,35	-0,30		-0,59
LF/HF, усл.ед.		-0,44	0,46	0,35		0,41

Отмечаются усиление и увеличение числа взаимодействий показателя VLF (%, mc²) – очень медленной волновой активности с ритмами головного мозга, которые связывают с усилением гуморально-метаболических влияний надсегментарного характера на регуляцию сердечного ритма [4, 6, 7, 14, 15]. Высокая прямая взаимосвязь показателя с β-ритмом (VLF mc² – β-ритм, %, r=0,94; VLF mc² – β-ритм, мкВ, r=0,85) может указывать на усиление церебральных гуморально-метаболических процессов, в том числе нейромедиаторной активности при стимуляции β-ритма в ходе БОС-тренинга. Это подтверждается высокими обратными взаимодействиями показателя VLF (%, mc²) с α-ритмом (VLF% – α-ритм, мкВ, r=-0,65) и θ-ритмом (VLF mc² – θ-ритм, %, r=-0,61; VLF % – θ-ритм мкВ, r=-0,65), отражающего улучшение церебральной динамики, нивелирование процессов утомления при БОС-тренинге по β-ритму к середине курса.

Об улучшении адаптационных и обменно-трофических процессов свидетельствуют высокое прямое взаимодействие

α-ритма с показателем общей мощности спектра (TP, мс²) (α-ритм, мкВ – TP, мс², r=0,68) и снижение значений КЭА.

На завершающем этапе (10 сеанс) курса нейробиоуправления по β-ритму значительное увеличение числа общих взаимосвязей (n=40) за счет возрастания количества взаимосвязей высокой силы (n=19), а также повышение КЭА (0,48 усл.ед.) свидетельствуют об увеличении напряжения во взаимодействии рассматриваемых систем (табл. 3), которое неизменно сопровождает переход системы на новый уровень функционирования [2, 3, 7].

Таблица 3

Корреляционные взаимосвязи ЭЭГ-ритмов с показателями ВСР на заключительном этапе БОС-тренинге по β-ритму головного мозга

Показатель	α-ритм, %	β-ритм, %	θ-ритм, %	α-ритм, мкВ	β-ритм, мкВ	θ-ритм, мкВ
Период курса БОС-тренинга по β-ритму (сеанс 10)						
TP, мс²	-0,71		0,70	-0,61	-0,51	-0,46
VLF, мс²	0,55		-0,58	0,47	0,39	
LF, мс²	-0,74	0,34	0,70	-0,64	-0,52	-0,51
HF, мс²	-0,61		0,67	-0,52	-0,49	-0,35
%VLF	-0,86	0,76	0,64	-0,80	-0,54	-0,81
%LF	0,41		-0,46	0,31	0,31	
%HF	-0,75	0,42	0,97	-0,75	-0,97	-0,74
LF/HF, усл.ед.	0,37	-0,75		0,40		0,52

К завершающему этапу БОС-тренинга α-ритм (%, мкВ) демонстрирует весь спектр взаимодействий с показателями вариабельности сердечного ритма: высокую обратную взаимосвязь с общей мощностью спектра (TP, мс²) (α-ритм, % – TP, мс², r=-0,71; α-ритм, мкВ – TP, мс², r=-0,61), с показателем высокочастотных колебаний (HF) (α-ритм, % – HF мс², r=-0,61; α-ритм, % – HF, %, r=-0,75; α-ритм, мкВ – HF, %, r=-0,75;), с показателями низкочастотных колебаний (LF) (α-ритм, % – LF мс², r=-0,74; α-ритм, мкВ – LF мс², r=-0,64), с показателями очень низкочастотных колебаний (VLF) (α-ритм, % – VLF, %, r=-0,86; α-ритм, мкВ – VLF, %, r=-0,80;), отражающих усиление парасимпатического, симпатического и гуморально-метаболического влияния на регуляцию сердечного ритма, централизацию в его управлении, что согласуется с реакцией депрессии α-ритма в ответ на общую активизацию коры головного мозга [12-13], наблюдаемой при БОС-тренинге по β-ритму (табл. 3).

Тесная прямая взаимосвязь β-ритма с VLF (β-ритм, % – VLF, %, r=0,76) указывает на усиление гуморально-метаболических влияний и нейромедиаторной активности, сформированной к завершению курса нейробиоуправления по произвольной стимуляции продуцирования β-ритма. Это подтверждается сильной отрицательной связью с показателем HF% (β-ритм, мкВ – HF, %, r=-0,97), отражающим парасимпатическое влияние, пик активности которого, согласно данным [14-15], подвержен быстрому разрушению под влиянием холинэстеразы и в значительной степени зависит от медиаторной активности. Выраженная обратная взаимосвязь β-ритма с показателем вагосимпатического баланса LF/HF (β-ритм, % – LF/HF усл.ед., r=-0,75) указывает на высокую степень сформированности у спортсменов к концу курса БОС-тренинга навыка произвольного управления по подъему, снижению и удержанию β-ритма головного мозга, выполняемого под контролем вегетативного реагирования.

θ-ритм, частотный диапазон которого связывают с состоянием глубокой релаксации головного мозга, с хорошей памятью, с глубоким и быстрым усвоением информации, развитием индивидуального творчества и талантов, разнонаправленно взаимосвязан с ВСР. Такая взаимосвязь отмечена с показателем очень низковолновой активности VLF (θ-ритм, % – VLF%, r=0,64; θ-ритм, мкВ – VLF%, r=-0,81), отражающей, по-видимому, разнонаправленную нейромедиаторную активность в обеспечении продуцирования θ-ритма [12-13].

Представляет интерес высокое прямое взаимодействие θ-ритма с показателями общей мощности спектра (TP) (θ-ритм, % – TP, mc², r=0,61) и низковолновой активности (LF) (θ-ритм, % – LF mc², r=0,7) при обратном взаимодействии с показателем высоковолновой активности (HF) (θ-ритм, % – HF%, r=-0,75; θ-ритм, мкВ – HF%, r=-0,74), указывающих на сформированность реагирования по увеличению θ-ритма, которая возрастает под влиянием симпатических влияний (а не парасимпатических, что наиболее часто практикуется для достижении тета-состояний, как при релаксации или медитации) [12-13], которая способствует дальнейшему расширению адаптивных возможностей и раскрытию резервного потенциала спортсменов. Например, спортсменами демонстрируется быстрое усвоение информации, поиск креативного решения или реагирование на внешние или внутренние стресс-факторы на фоне относительной релаксации при возрастающей адаптации к влияниям среды, что в совокупности способствует росту потенциальных способностей спортсменов.

Увеличение вариационно-детерминационного взаимодействия межсистемного уровня отражено возрастанием числа умеренных и высоких взаимосвязей ритмов головного мозга со всем спектром показателей ВСР, регулируемых симпатическими, парасимпатическими и гуморальными влияниями. Данные эффекты, наряду с усилением централизации механизмов регуляции, связаны с перестройкой системы регуляции кровообращения. Самоорганизация нейродинамических процессов в процессе перестройки функциональной системы с усилением центральных механизмов регуляции кровообращения и включением в систему большего числа элементов, в том числе и с сильными взаимосвязями, свидетельствуют о ее переходе на новый, более совершенный уровень функционирования.

Заключение. Саморегуляция нейродинамических процессов у спортсменов преобразовывалась в зависимости от длительности БОС-тренинга по β-ритму головного мозга, менялся количественный и качественный характер межуровневых взаимосвязей показателей центральной и вегетативной нервных систем, регулирующих деятельность сердечного ритма. Полученные данные об особенностях формирования количественной и качественной меры функционального ответа центральной и вегетативной систем спортсменов под влиянием нейробиоуправления различной продолжительности позволят целенаправленно моделировать ответные реакции организма спортсменов неинвазивным и нефармакологическим способом, что актуально современным запросам, могут быть использованы в спортивной и восстановительной медицине при комплексной подготовке и реабилитации спортсменов и лиц, отнесенных по роду деятельности к разряду экстремальных [18-19].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохин, П. К. Узловые вопросы теории функциональной системы / П. К. Анохин // М.: Наука, 1980. – 195 с.

2. Судаков, К. В. Функциональные системы / К. В. Судаков. – Москва: Издательство Российской академии медицинских наук, 2011. – 320 с.

3. Меерсон, Ф. З. Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам / Ф. З. Меерсон, М. Г. Пшенникова. – Москва: Медицина, 1988. – 225 с.
4. Гаврилова, Е. А. Спорт, стресс, вариабельность: монография / Е. А. Гаврилова. – Москва: Спорт, 2015. – 168 с.
5. Лунина, Н. В. Взаимосвязи регулирующего и исполнительного аппарата нервно-мышечной системы спортсменов при изучении реагирующей способности / Н. В. Лунина, Ю. В. Корягина // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6. – № 1. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_01_13
6. Шлык, Н. И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов / Н. И. Шлык. – Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2009. – 259 с.
7. Линдт, Т. А. Адаптация организма хоккеистов с позиции формирования функциональных систем / Т. А. Линдт, И. Н. Калинина, Н. В. Лунина // Современные вопросы биомедицины. – 2021. – Т. 5. – № 1. DOI: 10.51871/2588-0500_2021_05_01_10.
8. Суханова, И. В. Особенности адаптации у юношей Магаданской области: анализ межсистемных функциональных взаимосвязей (сообщение 2) / И. В. Суханова, А. Л. Максимов, С. И. Вдовенко // Экология человека. – 2014. – № 6. – С. 8-15.
9. Аллахвердиев, А. Р. Мультипараметрическая обратная связь и самоорганизация нейродинамических процессов / А. Р. Аллахвердиев, Ф. Г. Дадашев, К. Г. Дадашева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2019. – № 7. – С. 9-13.
10. Бондарь, Н. В. О критериях эффективности адаптации сердечно-сосудистой системы / Н. В. Бондарь // Физиология развития человека. Материалы междунар. конф., посвящ. 55-летию Института возрастной физиологии РАО. – М.: Изд-во НПО «Образование от А до Я», 2000. – С. 112-114.
11. Эрлих, В. В. Состояние кардиореспираторной и нервно-мышечной системы юношей-пловцов с различной направленностью соревновательной деятельности: автореф. дисс. … канд. биол. наук: 03.00.13 / Вадим Викторович Эрлих – Челябинск, 2007. – 24 с.
12. Поскотинова, Л. В. Возрастные особенности изменений биоэлектрической активности головного мозга при биоуправлении параметрами сердца у подростков приполярного региона / Л. В. Поскотинова, Д. Б. Демин, Е. В. Кривоногова / Фундаментальные исследования. – 2012. – № 5-1. – С. 180-184. URL: https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=29871 (дата обращения: 18.02.2024)
13. Интерфейс мозг-компьютер и технологии нейробиоуправления: современное состояние, проблемы и клинические перспективы (обзор) / А. И. Федочев, С. Б. Парин, С. А. Полевая, С. Д. Великова // Современные технологии в медицине. – 2017. – № 9(1). – С. 175-184. DOI: 10.17691/stm2017.9.1.22.
14. Эффекты бета-стимулирующего тренинга в восстановлении адаптационных резервов у спортсменов с разной направленностью тренировочного процесса / Лунина Н. В., Корягина Ю. В., Уханова О. П. [и др.] // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2023. – Т. 100. – № 6. – С. 40-45. DOI: 10.17116/kurort202310006140.
15. Патент № 2806480 C1 Российская Федерация, МПК A61M 21/02. Способ оптимизации функционального состояния организма спортсменов с помощью нейробиоуправления по β ритму головного мозга: № 2023103453: заявл. 15.02.2023: опубл. 01.11.2023 / Н. В. Лунина, Ю. В. Корягина, Г. Н. Тер-Акопов, С. В. Нопин; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства».
16. Михайлов, В. Н. Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения метода / В. Н. Михайлов // Иваново, 2000. – 182 с.
17. Методические аспекты анализа временных и спектральных показателей вариабельности сердечного ритма (обзор литературы) / Г. Н. Ходырев, С. В. Хлыбова, В. И. Циркин, С. Л. Дмитриева // Вятский медицинский вестник. – 2011. – № 3-4. – С.60-70.
18. Лунина, Н. В. Перспективы применения БОС-тренинга по β-ритму головного мозга в послеполетной реабилитации космонавтов / Н. В. Лунина, Ю. В. Корягина // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6. – № 4(21). DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_04_21.
19. Динамика психофизиологического состояния космонавтов в период послеполетной медицинской реабилитации на санаторно-курортном этапе / Корягина Ю. В., Ефименко Н. В., Абуталимова С. М. [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 3(24). DOI: 10.51871/2588-0500_2023_07_03_23.

REFERENCES

1. Anokhin P.K. Nodal questions of the theory of functional systems. Moscow: Nauka, 1980. 195 p. (in Russ.)
2. Sudakov K.V. Functional systems. Moscow: Publishing house of the Russian Academy of Medical Sciences, 2011. 320 p. (in Russ.)
3. Meerson F.Z., Pshennikova M.G. Adaptation to stressful situations and physical activity. Moscow: Medistina, 1988. 225 p. (in Russ.)
4. Gavrilova E.A. Sport, stress, variability: a monograph. Moscow: Sport, 2015. 168 p. (in Russ.)
5. Lunina N.V., Koryagina Yu.V. Interrelations of the regulatory and executive apparatus of the neuromuscular system of athletes in the study of reactivity. *Modern Issues of Biomedicine*, 2022, vol. 6, no. 1. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_01_13. (in Russ).
6. Shlyk N.I. Heart rate and regulation type of children, teenagers and athletes. Izhevsk: Publishing house of the Udmurt University, 2009. 259. (in Russ.)
7. Lindt T.A., Kalinina I.N., Lunina N.V. Adaptation of hockey players from the perspective of the formation of functional systems. *Modern Issues of Biomedicine*, 2021, vol. 5, no. 1. DOI: 10.51871/2588-0500_2021_05_01_10. (in Russ.)
8. Sukhanova I.V., Maksimov A.L., Vdovenko S.I. Peculiarities of adaptation in young male residents of Magadan region: analysis of intersystem functional relations (report 2). *Human Ecology*, 2014, no. 6, pp. 8-15. (in Russ.).
9. Allahverdiev A.R., Dadashov F.G., Dadasheva K.G. Multiparametric feedback and self-organization of neurodynamic processes. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2019, no. 7, pp. 9-13. (in Russ.)
10. Bondar' N.V. On the criteria for the effectiveness of adaptation of the cardiovascular system. Physiology of Human Development. Materials of the International Conference dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Developmental Physiology of the Russian Academy of Education. Moscow: Publishing house "Obrazovanie ot A do Ya", 2000. pp. 112-114 (in Russ.)
11. Erlikh V.V. The state of the cardiorespiratory and neuromuscular system of young swimmers of different type: an author's abstract. Chelyabinsk, 2007. 24 p. (in Russ.)
12. Poskotinova L.V., Demin D.B., Krivonogova E.V. Age features of a brain bioelectric activity during HRV biofeedback session in adolescents of subpolar region. *Fundamental research*, 2012, no. 5-1, pp. 180-184. Available at: https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=29871 (accessed 18.02.2024) (in Russ.)
13. Fedotchev A.I., Parin S.B., Polevaya S.A., Velikova S.D. Brain-Computer Interface and Neurofeedback Technologies: Current State, Problems and Clinical Prospects (Review). *Sovremennye tehnologii v medicine*, 2017, no. 9(1), pp. 175-184. DOI: 10.17691/stm2017.9.1.22 (in Russ.)
14. Lunina N.V., Koryagina Yu.V., Ukhanova O.P., Achabaeva A.B., Aliev T.I., Zhilokova A.O., Mikhajlova A.A. Effects of the beta-stimulating training in recovery of adaptive reserves in athletes of different sports. *Voprosy kurortologii, fizioterapii, i lechebnoi fizicheskoi kultury*, 2023, vol. 100, no. 6, pp. 40-45. DOI: 10.17116/kurort20231000 6140. (in Russ.)
15. Lunina N.V., Koryagina Yu.V., Ter-Akopov G.N., Nopin S.V. Method of optimizing the functional state of the athletes' organism with the help of neurobiocontrol by β-rhythm of the brain. Patent RF 2806480 C1, 2023. (in Russ.)
16. Mikhajlov V.N. Heart rate variability. Experience in practical application of the method. Ivanovo, 2000. 182 p. (in Russ.)
17. Khodyrev G.N., Khlybova S.V., Tsirkin V.I., Dmitriev S.L. Methodological aspects of analysis of temporal and spectral parameters of heart rate variability (review). *Medical Newsletter of Vyatka*, 2011, no. 3-4, pp. 60-70 (in Russ.)
18. Lunina N.V., Koryagina Yu.V. Prospects for the application of biofeedback training on the beta rhythm of the brain in the post-flight rehabilitation of astronauts. Modern Issues of Biomedicine, 2022, vol. 6, no. 4 (21). DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_04_21. (in Russ.)
19. Koryagina Yu.V., Efimenko N.V., Abutalimova S.M., Nopin S.V., Lunina N.V. Psychophysiological state dynamics of astronauts during post-flight medical rehabilitation at the sanatorium-resort stage. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 3 3(24). DOI: 10.51871/2588-0500_2023_07_03_23. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Наталья Владимировна Лунина – кандидат биологических наук, доцент «Российский университет спорта (ГЦОЛИФК)», доцент кафедры физической реабилитации, массажа и оздоровительной физической культуры им. И.М. Саркизова-Серазини, Москва; старший научный сотрудник ЦМБТ ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: natalya-franc@mail.ru.
Юлия Владиславовна Корягина – доктор биологических наук, профессор, руководитель центра медико-биологических технологий, ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: nauka@skfmba.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Natal'ya V. Lunina – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physical Rehabilitation, Massage and Health-Improving Physical Culture named after I.M. Sarkizov-Serazini, Russian University of Sports "GTSOLIFK", Moscow; Senior Researcher of the Center for Biomedical Technologies, FSBI "North-Caucasian Federal Research and Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency", Essentuki, e-mail: natalya-franc@mail.ru.
Yulia V. Koryagina – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Center of Biomedical Technologies, FSBI "North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency", Essentuki, e-mail: nauka@skfmba.ru.

Для цитирования: Лунина, Н. В. Самоорганизация нейродинамических процессов у спортсменов при БОС-тренинге по β-ритму головного мозга различной продолжительности / Н. В. Лунина, Ю. В. Корягина // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8. – № 1. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_01_10

For citation: Lunina N.V., Koryagina Yu.V. Self-organization of neurodynamic processes in athletes during biofeedback training of brain beta rhythm of different duration. *Modern Issues of Biomedicine*, 2024, vol. 8, no. 1. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_01_10