



Исследовательская статья

УДК 612.822.3; 612.822.81; 796.332

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-109-128

**Павел Александрович Терехов¹,
Егор Александрович Киндюхин²,
Евгений Константинович Ефременков³**

^{1, 2, 3} Смоленский государственный университет спорта,
Смоленск, Россия

ОСОБЕННОСТИ НЕЙРОНАЛЬНОГО МЕТАБОЛИЗМА ГОЛОВНОГО МОЗГА СПОРТСМЕНОВ С РАЗНЫМИ ТИПАМИ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА В ПРОЦЕССЕ ТЕСТИРОВАНИЯ СУБМАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

Аннотация. В статье приведены результаты исследования нейронального метаболизма головного мозга спортсменов с разными типами вегетативной регуляции сердечного ритма в процессе тестирования субмаксимальной мощности. В исследовании приняли участие 24 кандидата в мастера спорта по футболу Смоленска. Было установлено, что в начале эксперимента у спортсменов стандартная нагрузка не привела к значительному повышению омега-потенциала и смене динамических характеристик межполушарной асимметрии, что считалось признаком нейрофизиологической стабильности их церебрального метаболизма. В результате влияния тренировочного процесса было выявлено достоверное повышение субмаксимальной мощности у всех групп атлетов. Степень ацидоза различного генеза была обусловлена формой выраженности доминирующего контура вегетативной регуляции сердечного ритма, а не уровнем прироста специальной работоспособности в процессе велоэргометрического тестирования. У атлетов с умеренным преобладанием его автономного и центрального механизма (III и I типы) физическая нагрузка не привела к нарушению принципа куполообразности распределения омега-потенциала. Была выявлена

адаптивная реакция смены доминантного полушария на субдоминантную гемисферу, в то время как в крайних формах вегетативного обеспечения (IV и II типы) были обнаружены гипертрофированные и сниженные реакции без изменения межполушарного градиента при регистрации максимального уровня нейронального метаболизма в затылочной области. Наиболее устойчивыми к гипоксии мозга, вызванной субмаксимальной нагрузкой, оказались физиологические (III и I) типы вегетативной регуляции сердечного ритма.

Ключевые слова: нейрональный метаболизм, уровень постоянных потенциалов, анаэробная работоспособность, субмаксимальная мощность, тип вегетативной регуляции, футболисты

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

Research article

UDC 612.146.4; 612.176.4; 796.332

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-109-128

Pavel Alexandrovich Terekhov¹,
Egor Alexandrovich Kindyukhin²,
Evgeny Konstantinovich Efremenko³

^{1, 2, 3} Smolensk State University of Sports,
Smolensk, Russia

FEATURES OF NEURONAL METABOLISM OF THE BRAIN OF ATHLETES WITH DIFFERENT TYPES OF AUTONOMIC REGULATION OF CARDIAC RHYTHM DURING SUBMAXIMUM POWER TESTING

Abstract. This article presents the results of a study of neuronal metabolism in the brain of athletes with different types of autonomic heart rate regulation during submaximal power testing. Twenty-four Smolensk football Candidate Masters of Sports participated in the study. It was found that at the beginning of the experiment, the standard load did not significantly increase the athletes' omega potential or change the dynamic characteristics of interhemispheric asymmetry, which was considered a sign of neurophysiological stability in their cerebral metabolism. The training process resulted in a significant increase in submaximal power in all athlete groups. The degree of acidosis of various origins was determined by the severity of the dominant autonomic heart rate regulation circuit, rather than by the level of increase in specific performance during bicycle ergometric testing. In athletes with a moderate predominance of autonomic and central mechanisms (types III and I), physical exercise did not disrupt the domed distribution of omega potential; an adaptive response was observed, shifting from the dominant hemisphere to the subdominant hemisphere. In contrast, in extreme forms of autonomic support (types IV and II), hypertrophied and reduced responses were observed, with no change in the interhemispheric gradient when recording the maximum level of neuronal metabolism in the occipital region. Physiological

(types III and I) autonomic regulation of heart rate proved to be the most resistant to cerebral hypoxia caused by submaximal exercise.

Keywords: neuronal metabolism, level of constant potentials, anaerobic performance, submaximal power, type of autonomic regulation, football players

Funding statement: no funding was received for writing this manuscript.

Введение

Анализ уровня постоянных потенциалов (УПП) головного мозга отражает особенности общего (монополярного) и локального (местного) энергетических затрат, необходимых для оценки функционального состояния корковых нейронов, регулирующих генерацию импульсной активности в норме и в условиях гипоксии [7; 11]. Применение данной технологии в спорте чрезвычайно практично, поскольку оперативно позволяет тренеру контролировать выполнение произвольных движений с позиций качественной медико-биологической диагностики для прогнозирования достижения оптимального результата [2; 10]. С другой стороны, баланс симпатического и парасимпатического отдела вегетативной нервной системы определяет тип ее регуляции, который напрямую воздействует на степень переносимости адаптивных реакций организма атлетов при избранных нагрузках, приближая полученные данные к индивидуальному анализу [6; 12]. Более того, учет этих функциональных параметров позволяет оценить предстартовую готовность спортсменов к тренировочной и соревновательной деятельности.

Цель нашей работы заключалась в исследовании нейронального метаболизма головного мозга футболистов с разными типами вегетативной регуляции сердечного ритма в процессе тестирования субмаксимальной мощности.

Задачи исследования:

- 1) сравнить анаэробную работоспособность квалифицированных спортсменов с учетом выделенных функциональных групп по данным велоэргометрического тестирования в начале и конце тренировочного мезоцикла;
- 2) оценить динамику нейронального метаболизма атлетов после стандартной нагрузки при регистрации монополярно зарегистрированных значений уровня постоянных потенциалов мозга и функциональной межполушарной асимметрии в начале эксперимента;
- 3) изучить влияние тренировочного процесса на параметры анаэробной работоспособности и особенности энергетического обмена головного мозга спортсменов на основе дифференцированного подхода;
- 4) выявить локальные изменения омега-потенциала у футболистов с различными особенностями вегетативной регуляции сердечного ритма с целью исключения влияния референтного электрода на области мозга, связанные с гипоксией в процессе субмаксимального тестирования.

Материалы и методы исследования

В исследовании приняли участие 24 кандидата в мастера спорта мужского пола в возрасте 18–25 лет сборной по футболу Смоленского государственного университета спорта на подготовительном этапе — победителя кубка Союза федераций футбола «Центр», 2025 г. К правшам относили субъектов, которые считали себя праворукими и имели выраженную правостороннюю организацию двигательных функций рук.

Оценка активности различных структур головного мозга проводилась с помощью 5-канального комплекса для топографического картирования электрической активности мозга «Нейро-КМ», фирмы «Статокин» (Москва, Россия) по стандартной схеме [1; 17]. Регистрация показателей энергетического метаболизма осуществлялась монополярно в нижнелобном (Fz, mV), теменном или центральном (Cz, mV), затылочном (Oz, mV), правом и левом височном (Td, mV, Ts, mV) отведении. Также учитывался усредненный УПП ({УПП}) в пяти областях, отражающий разность потенциалов головы и руки. Локальные значения омега-потенциала в тех же стандартных отведениях (F#, C#, O#, Td#, Ts#) в норме отражают интенсивность энергетических процессов в различных областях головы относительно среднего уровня церебрального энергообмена. В работе учитывался межполушарный градиент Td – Ts (разность потенциалов между правым и левым височными зонами). Регистрация УПП осуществлялась в состоянии покоя и после субмаксимальной нагрузки также в течение 5 минут. Оценка нейронального метаболизма проводилась в соответствии с общепринятыми диапазонами омега-потенциала по В. Ф. Фокину [8].

С целью качественной диагностики функционального состояния участников исследования разделили на типы вариабельности сердечного ритма (BCP) по технологии Н. И. Шлык [18].

Для оценки уровня физической нагрузки (ФН) у футболистов применялся механический велоэргометр Ergomedic 894E Peak Bike фирмы Monark (Швеция) с установленным [9] оптическим датчиком частоты вращения педалей, аналогово-цифровым преобразователем и ноутбуком. После разминки участники эксперимента выполняли: субмаксимальный тест (3 мин.) с 3-процентным внешним отягощением от массы тела в динамике тренировочного мезоцикла. Учитывались: объем работы (A); максимальная ($N_{\max}$), относительная (Not) мощность; коэффициент выносливости (KB); количество оборотов за время теста. Статистическая обработка материала была проведена с помощью пакета программы IBM SPSS Statistics 19. Для количественных показателей проводился расчет средних арифметических (M) и стандартных отклонений (SD).

Результаты исследования

В начале исследования была проанализирована сравнительная характеристика субмаксимальной мощности футболистов. Анализ данных (табл. 1) выявил, что в начале тренировочного мезоцикла у атлетов обнаружено наличие двух типов вегетативной регуляции с умеренным доминированием автономного (парасимпатического, III) и центрального (симпатического, I) ее контуров.

Таблица 1

Оценка субмаксимальной мощности квалифицированных футболистов с различными особенностями вегетативной регуляции сердечного ритма в динамике тренировочного мезоцикла, $M \pm SD$

Нагрузка / ВСР	A , Дж	$N_{\max}$, Вт	Not , Вт/кг	KB , усл. ед.	Обороты, раз.
В начале тренировочного мезоцикла					
I тип, $n = 11$	$65\,050 \pm 191,4$	$364,7 \pm 10,5$	$4,72 \pm 0,10$	$0,941 \pm 0,015$	$423,8 \pm 3,7$
III тип, $n = 13$	$67\,725 \pm 184,3^*$	$385,1 \pm 12,4$	$5,09 \pm 0,08$	$0,957 \pm 0,012$	$446,4 \pm 3,1^*$
В конце тренировочного мезоцикла					
I тип, $n = 5$	$67\,251 \pm 193,2$	$397,6 \pm 11,3$	$5,09 \pm 0,07$	$0,945 \pm 0,010$	$441,7 \pm 2,8$
III тип, $n = 6$	$71\,584 \pm 197,1^{***}$	$465,3 \pm 12,7^*$	$6,09 \pm 0,12^{**}$	$0,975 \pm 0,012^*$	$465,6 \pm 3,5^{**}$
II тип, $n = 6$	$65\,492 \pm 176,3$	$365,2 \pm 8,7$	$4,64 \pm 0,15$	$0,925 \pm 0,014$	$432,7 \pm 2,3$
IV тип, $n = 7$	$70\,183 \pm 184,2^{***}$	$421,4 \pm 10,2^*$	$5,58 \pm 0,07^{**}$	$0,970 \pm 0,012^{***}$	$460,4 \pm 2,7^{**}$

Примечание: достоверные отличия от соответствующего межтипового показателя до и после физической нагрузки при * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

У футболистов с III типом параметры объема выполненной работы были выше на 4,1 % ($p < 0,05$), что отразилось в повышении количества произведенных полных оборотов за время теста на 5,3 % ($p < 0,05$) по сравнению с атлетами I группы.

В конце тренировочного цикла были обнаружены представители всех четырех типов вегетативной регуляции, в том числе с крайними формами их адаптационных проявлений. Следует отметить, что наибольший относительный прирост в тесте был показан спортсменами с умеренным доминированием автономного звена регуляции (III тип), а наименьшие параметры субмаксимальной мощности отмечены у представителей с выраженным преобладанием центрального механизма управления ритмом сердца (II тип).

В дальнейшем были проанализированы сдвиги нейронального метаболизма головного мозга футболистов в процессе эксперимента с учетом выделенных групп. Анализ данных показал (табл. 2), что в состоянии относительного покоя значения омега-потенциала у спортсменов с умеренным доминированием автономного звена регуляции (III тип) соответствовали критерию нормы [13; 14]. Распределение индикаторов имело куполообразную форму с максимальным УПП в области вертекса (макушки, Cz – $12,5 \pm 1,7$ mV). Величина омега-потенциала закономерно снижалась к нижнелобному (Fz – $11,6 \pm 2,1$ mV) и левому височным отделам (Ts – $10,9 \pm 1,3$ mV) головного мозга.

Таблица 2

Динамика монополярно зарегистрированных значений УПП и функциональной межполушарной асимметрии футболистов с различными особенностями вегетативной регуляции сердечного ритма, $M \pm SD$

ВСП / УПП	Fz, mV	Cz, mV	Oz, mV	Td, mV	Ts, mV	Td – Ts
В начале тренировочного мезоцикла						
III тип	$11,6 \pm 2,1$	$12,5 \pm 1,7$	$7,8 \pm 1,4$	$8,5 \pm 1,5$	$10,9 \pm 1,3$	$-2,4 \pm 0,5$
III тип, ФН	$8,5 \pm 1,4^*$	$8,3 \pm 1,2^{**}$	$10,5 \pm 1,4^{**}$	$9,2 \pm 1,1$	$14,3 \pm 1,6^{***}$	$-5,1 \pm 0,7^{***}$
<i>p</i>	$< 0,05$	$< 0,01$	$< 0,01$	$> 0,05$	$< 0,01$	$< 0,001$
I тип	$14,7 \pm 2,3$	$15,1 \pm 2,1$	$10,2 \pm 1,8$	$13,8 \pm 1,4$	$11,5 \pm 1,7$	$2,3 \pm 0,2$
I тип, ФН	$21,5 \pm 2,7^{***}$	$20,9 \pm 2,3^{**}$	$13,7 \pm 1,9^*$	$18,9 \pm 1,8^{**}$	$14,6 \pm 1,5^*$	$4,3 \pm 0,4^{**}$
В конце тренировочного мезоцикла						
III тип	$17,2 \pm 2,5$	$19,4 \pm 2,7$	$18,9 \pm 1,8$	$15,1 \pm 1,6$	$17,7 \pm 1,5$	$-2,6 \pm 0,2$
III тип, ФН	$24,3 \pm 1,6^{**}$	$27,8 \pm 1,7^{**}$	$26,1 \pm 2,4^{**}$	$25,3 \pm 2,2^{***}$	$22,5 \pm 2,3^{**}$	$2,8 \pm 0,4^{***}$
I тип	$24,8 \pm 2,5$	$25,6 \pm 2,3$	$24,1 \pm 2,1$	$20,5 \pm 1,7$	$23,7 \pm 1,9$	$-3,2 \pm 0,2$
I тип, ФН	$35,1 \pm 2,7^{**}$	$37,7 \pm 2,1^{***}$	$33,6 \pm 2,5^{**}$	$32,7 \pm 2,6^{***}$	$28,3 \pm 1,9^*$	$4,4 \pm 0,3^{***}$
II тип	$31,5 \pm 2,8$	$41,7 \pm 2,6$	$39,8 \pm 2,3$	$33,5 \pm 2,4$	$36,2 \pm 2,5$	$-2,7 \pm 0,2$
II тип, ФН	$22,5 \pm 2,1^*$	$20,2 \pm 1,8^{***}$	$26,3 \pm 2,2^*$	$22,6 \pm 1,7^*$	$28,4 \pm 2,3^*$	$-5,8 \pm 0,5^*$
IV тип	$32,8 \pm 2,4$	$33,5 \pm 2,2$	$35,6 \pm 2,1$	$27,1 \pm 2,3$	$30,5 \pm 2,6$	$-3,4 \pm 0,3$
IV тип, ФН	$47,3 \pm 2,8^{***}$	$46,4 \pm 2,6^{**}$	$50,1 \pm 2,5^{**}$	$32,8 \pm 2,7^*$	$40,3 \pm 2,4^*$	$-7,5 \pm 0,4^*$

Примечание: достоверные отличия от соответствующего внутритипового показателя до и после физической нагрузки (ФН) при * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Было выявлено наличие межполушарной разницы ($T_d - T_s = -2,4 \pm 0,5 \text{ mV}$) в уровне потенциала с более высоким значением УПП в левой височной области; это трактовалось как адаптивная реакция, связанная с аналитическими процессами, последовательной (сукцессионной) готовности к обработке вербальной информации перед предстоящим велоэргометрическим тестированием.

После выполнения стандартной пробы на оценку субмаксимальной мощности у представителей III типа обнаружено достоверное снижение омега-потенциала в нижней лобной и центральной областях на 26,7 % ($p < 0,05$) и 33,6 % ($p < 0,01$); при существенном повышении УПП в затылочном — на 34,6 % ($p < 0,01$) и лево-височном отведениях — на 31,2 % ($p < 0,01$). Обнаруженные изменения свидетельствовали об усилении мозгового кровотока и, несмотря на повышение энергетического метаболизма в (Oz и Ts), pH сдвигалось в щелочную сторону в (Fz и Cz), что связывалось с активным вымыванием углекислоты в процессе тестирования. Под влиянием нагрузки также повысились динамические межполушарные различия в левом доминантном полушарии, о чем свидетельствовал отрицательный показатель ($T_d - T_s = -5,1 \pm 0,7 \text{ mV}$).

В качестве примера на рисунке 1 представлены картограммы распределения УПП после выполнения субмаксимального теста у футболистов в зависимости от типа ВСР в начале эксперимента.

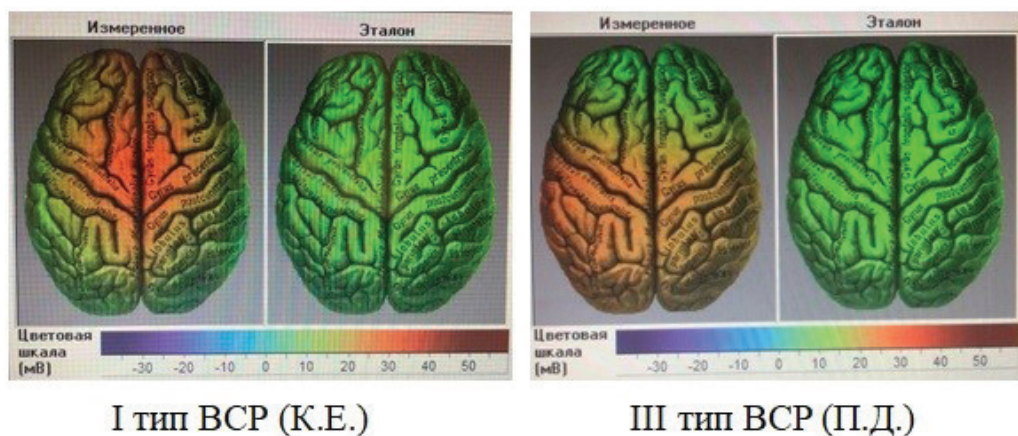


Рис. 1. Пример распределения картограмм уровня постоянного потенциала после выполнения субмаксимального теста у футболистов в зависимости от типа вегетативной регуляции сердечного ритма в начале тренировочного периода

Подобные сдвиги омега-потенциала у футболистов III типа в начале тренировочного мезоцикла отражали оптимальное функционирование нейронального метаболизма после выполнения работы субмаксимальной мощности.

В дальнейшем оценим динамику энергетического обмена головного мозга атлетов с I типом ВСР. Так, у представителей с умеренным доминированием центрального контура вегетативной регуляции сердечного ритма распределение УПП на фоновом уровне характеризовалось куполообразной формой

и наивысших значений оно достигало в Cz – $15,1 \pm 2,1$ mV, Fz – $14,7 \pm 2,3$ mV, Td – $13,8 \pm 1,4$ mV. Межполушарная разность потенциалов достоверно отличалась от нуля и соответствовала правополушарному доминированию $Td > Ts$ ($2,3 \pm 0,2$ mV), что согласуется с данными [3] о большей степени влияния правой височной доли с регуляцией симпатического отдела вегетативной нервной системы, через мобилизацию гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы. Обнаруженные изменения [5; 16] энергетического метаболизма у футболистов I типа в начале тренировочного мезоцикла отражали верхнюю границу нормы омега-потенциала в состоянии относительного покоя.

После выполнения физической нагрузки у них было выявлено существенное повышение УПП в нижней лобной (на 46,2 %, $p < 0,001$), центральной (на 38,4 %, $p < 0,01$) и правой (на 36,9 %, $p < 0,01$) височных областей. К тому же в этих отведениях головного мозга в абсолютных величинах увеличение омега-потенциала соответствовало критерию умеренного повышения. Сохранялось преобладание на 86,9 % ($p < 0,01$) интенсивности энергообмена в правом доминирующем полушарии, о чем свидетельствовал положительный показатель ($Td - Ts = 4,3 \pm 0,4$ mV). Выявленные изменения омега-потенциала у атлетов I типа в начале эксперимента после выполнения нагрузки субмаксимальной мощности были адекватными и соответствовали состоянию легкого стресса без резких сдвигов или длительной гиперактивации.

Далее выделим особенности энергетического обмена головного мозга у спортсменов в конце тренировочного мезоцикла.

Так, у спортсменов III типа ВСР наиболее высокий уровень нейронального метаболизма был зарегистрирован в центральной ($19,4 \pm 2,7$ mV), затылочной ($18,9 \pm 1,8$ mV) и левой височных областях ($17,7 \pm 1,5$ mV), в соответствии с принципом куполообразности распределения УПП, что отражало сбалансированное распределение энергозатрат в состоянии покоя [4; 15]. В то же время параметры омега-потенциала в этих зонах, включая также нижнюю лобную ($17,2 \pm 2,5$ mV), соответствовали оценке его умеренного повышения (от 16 до 39 mV) относительно абсолютных величин.

После выполнения субмаксимального теста в сагиттальных (медиальных) областях произошло достоверное повышение УПП в Fz на 41,2 % ($p < 0,01$), Cz — на 43,3 % ($p < 0,01$), Oz — на 38,1 % ($p < 0,05$). Активность нейронального метаболизма переместилась в субдоминантное правое полушарие ($Td - Ts = 2,8 \pm 0,4$ mV), что сопровождалось изменением центральной регуляции гомеостаза. Обнаруженное переключение было своеобразным отдыхом в деятельности доминантного полушария в условиях воздействия анаэробной нагрузки в качестве внешнего стрессорного фактора. Нарушения принципа куполообразности распределения УПП обнаружено не было, что указывало на баланс в энергетических затратах изученных зон коры головного мозга. Абсолютные значения омега-потенциала соответствовали оценке достижения средней границы умеренного повышения после тестирования.

У спортсменов же с преобладанием центрального контура регуляции сердечного ритма (I тип) наивысший уровень УПП был обнаружен в центральной ($25,6 \pm 2,3$ mV), лобной ($24,8 \pm 2,5$ mV) и затылочной ($24,1 \pm 2,1$ mV) областях. По мере удаления к периферии уровень потенциала снижался и составлял ($20,5 \pm 1,7$ mV) в правом и ($23,7 \pm 1,9$ mV) в левом височных отведениях. В состоянии покоя УПП был выше в левом полушарии, что отражал отрицательный знак их межполушарной разницы ($Td - Ts = -3,2 \pm 0,2$ mV).

После выполнения физической нагрузки у атлетов с I типом ВСР достоверно выросли значения омега-потенциала в Cz на 47,2 % ($p < 0,001$), Fz — на 41,5 % ($p < 0,01$), Oz — на 39,4 % ($p < 0,01$), что свидетельствовало о более выраженном закислении оттекающей от мозга крови, по сравнению с ацидозом периферических капилляров. В качестве адаптивной реакции произошла инверсия полушарного доминирования в правую сторону, о чем свидетельствовал положительный показатель $Td - Ts$ ($4,4 \pm 0,3$ mV). В то же время нарушения градиента УПП от центра к периферии не произошло и это считалось критерием сбалансированного нейронального метаболизма. Абсолютные значения омега-потенциала соответствовали оценке достижения верхней границы умеренного повышения в процессе выполнения физической нагрузки.

Далее отражена динамика УПП у атлетов с преобладанием выраженных форм вегетативного доминирования сердечным ритмом.

Так, у спортсменов II типа ВСР уже в фоновом распределении значения омега-потенциала в затылочной области ($39,8 \pm 2,3$ mV) были близки к центральным данным ($41,7 \pm 2,6$ mV) и достоверно на 26,3 % ($p < 0,05$) превышали его параметры в лобной области ($31,5 \pm 2,8$ mV). Подобная закономерность приводила к нарушению куполообразности, что может быть связано с особенностями адаптационных процессов и стрессовой реакцией их организма на влияние исключительно тренировочного процесса подготовки. Средние различия по межполушарной разности УПП достоверно отрицательно отличалась от нуля ($Td - Ts = -2,7 \pm 0,2$ mV) и свидетельствовали о доминировании левого полушария. Абсолютные значения омега-потенциала в центральной зоне составили $41,7 \pm 2,6$ mV, что трактовалось в качестве значительного его превышения относительно нормы.

В качестве примера на рисунке 2 представлены картограммы распределения УПП после выполнения субмаксимального теста у футболистов в зависимости от типа вегетативной регуляции сердечного ритма в конце тренировочного периода.

После выполнения анаэробного теста у спортсменов II типа ВСР принцип куполообразности нарушался как в сагиттальной, так и во фронтальной плоскости. Подобный эффект происходил за счет повышения энергетического метаболизма в затылочном ($26,3 \pm 2,2$ mV) и левом височных отведениях ($28,4 \pm 2,3$ mV), с левополушарным градиентом доминирования ($Td - Ts = -5,8 \pm 0,5$ mV). Такой дисбаланс нейронального метаболизма может быть связан с напряженной

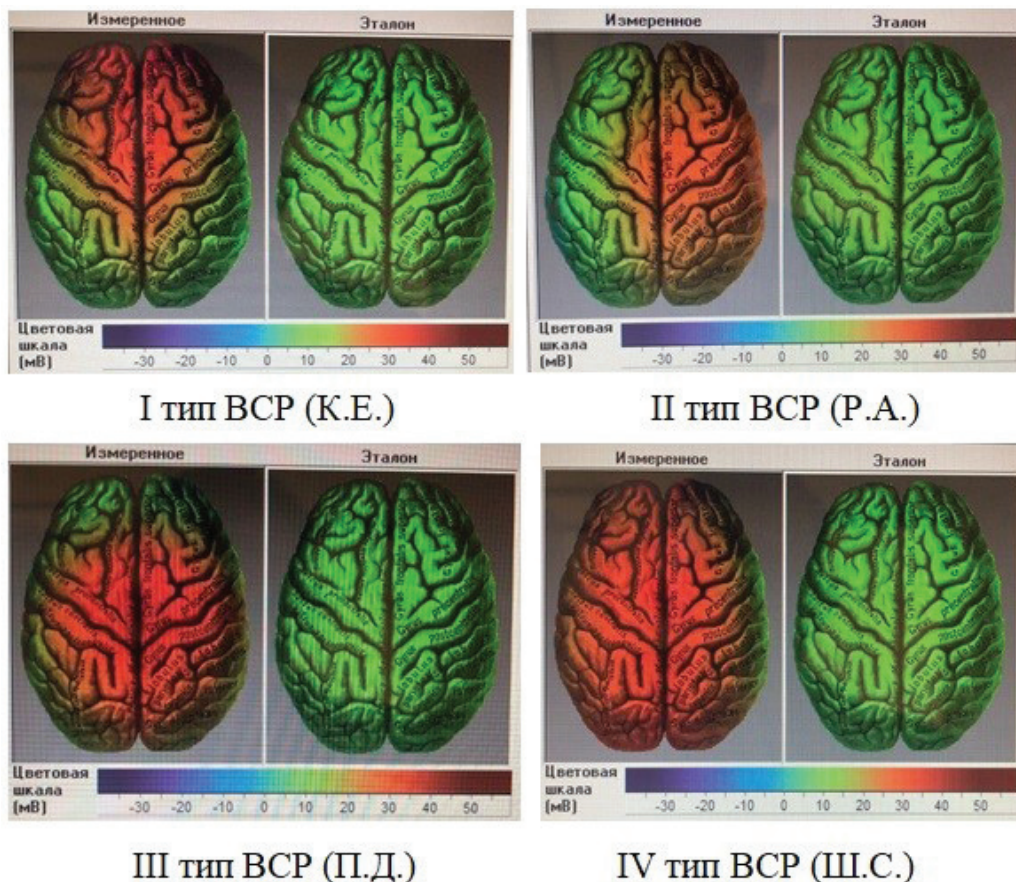


Рис. 2. Пример распределения картограмм уровня постоянного потенциала после выполнения субмаксимального теста у футболистов в зависимости от типа вегетативной регуляции сердечного ритма в конце тренировочного периода

адаптацией к сочетанному воздействию тренировочного процесса и дополнительного велоэргометрического тестирования, что ограничивало перераспределение энергетических ресурсов.

При сравнении дельт УПП до и после нагрузки выявлено достоверное их снижение во всех отведениях, максимальные сдвиги уменьшения омега-потенциала были зарегистрированы в центральной области на 51,5 % ($p < 0,001$). Таким образом, предъявленное атлетам субмаксимальное тестирование значительно превышало адаптационные возможности их организма, что отразилось в снижении энергетического метаболизма корковых нейронов и было характерно для последней стадии стресса — истощения (переутомления).

В продолжение отразим сдвиги омега-потенциала в динамике тренировочного процесса и избранной нагрузки у представителей с выраженным доминированием автономного звена регуляции сердечного ритма.

У спортсменов с IV типом ВСР также было выявлено нарушение куполообразного распределения энергозатрат в состоянии покоя по окончании

процесса профессиональной подготовки. Наибольшие параметры УПП зафиксированы в затылочной зоне ($35,6 \pm 2,1$ mV), а статистические различия между ней и центральными (Cz и Fz) отделами мозга были тенденциозными ($p > 0,05$). Подобный сдвиг омега-потенциала к задней части головы мог быть обусловлен мобилизацией функциональной активности в неспецифических ретикуло-лимбико-кортикальных системах, от регуляции которых напрямую зависит интенсивность церебральных энергетических процессов в целом. Также было установлено достоверное усиление активности левого полушария по сравнению с правым, о чем свидетельствовала отрицательная дельта межполушарных различий УПП височных областей ($T_d - T_s = -3,4 \pm 0,3$ mV). Абсолютные значения омега-потенциала соответствовали среднему уровню его умеренного повышения.

После выполнения субмаксимального теста у футболистов с IV типом ВСР значительно повысился УПП в лобной (на 44,2 %, $p < 0,001$), затылочной (на 40,7 %, $p < 0,01$) и центральной (на 38,5 %, $p < 0,01$) области, что связывалось с активацией двигательных сенсорных зон. Наивысшие значения омега-потенциала были обнаружены в затылочном отведении ($50,1 \pm 2,5$ mV), что напрямую отражало нарушение принципа куполообразности его нормального распределения. За исключением УПП в правой височной области, все остальные обследованные зоны нейронального метаболизма соответствовали критерию значительного их увеличения на фоне окончания тренировочного процесса. Обнаруженные положительные сдвиги, по сравнению с их исходными данными, свидетельствовали о гиперреакции организма атлетов с IV типом ВСР, они привели к генерализованным изменениям в головном мозге, что отражало избыточную мобилизацию энергетических ресурсов на стандартную нагрузку.

Более того, достоверного переключения активности с ведущего (левого) полушария на субдоминантное (правое) в процессе тестирования обнаружено не было ($T_d - T_s = -7,5 \pm 0,4$ mV). Обнаруженная взаимосвязь отражала дисбаланс в работе функциональных систем, обеспечивающих произвольную регуляцию. В таких случаях субдоминантная гемисфера не включается в работу на адекватном внешней работе уровне, что снижает адаптивные возможности головного мозга, ведет к истощению ведущего полушария и нарушению механизмов их переключения в процессе спортивной подготовки.

С целью исключения влияния референтного электрода на воздействие физической нагрузки оценивались также локальные особенности энергообмена в мозге.

Анализ данных (см. табл. 3) показал, что у спортсменов с умеренным доминированием автономного контура регуляции (III тип ВСР) в начале эксперимента после анаэробной пробы происходило достоверное уменьшение омега-потенциала в нижней лобной, центральной и затылочной областях в 1,3–2,3 раза ($p < 0,001$), а также в правой височной зоне на 45,4 % ($p < 0,05$). Выявленная закономерность была обусловлена снижением метаболической активности

нервной ткани в связи с компенсаторным нарастанием мозгового кровотока, опережающим накопление лактата и других кислых продуктов обмена веществ в процессе тестирования. В то же время в левой височной области происходило выраженное повышение нейронального метаболизма в 5,4 раза по сравнению с уровнем покоя, что указывало на избирательное снижение рН в этом отделе мозга. Параметры усредненного УПП имели тенденцию к уменьшению ($p > 0,05$), что свидетельствовало о наличии слабого или умеренного стресса.

Противоположная закономерность была установлена у атлетов с умеренным преобладанием центрального механизма вегетативной регуляции сердечного ритма с увеличением УПП в большинстве изученных параметров от 46,1 (С#, $p < 0,01$) до 118,2 % (F#, $p < 0,001$). Было установлено, что лобная область у спортсменов I типа ВСР в большей мере, чем другие, была восприимчива к стрессу в виде физической нагрузки на велоэргометре, вызванном смещением кислотно-щелочного равновесия крови в кислую сторону. В правой височной зоне, не доминантной у правшей, регулирующей в организме обработку невербальной информации, обнаружено лишь тенденциозное повышение омега-потенциала ($p > 0,05$), что отражало меньшую ее вовлеченность в процессы, напрямую зависящие от физической активности. Увеличение усредненного {УПП} составило 37,2 % ($p < 0,01$), что обеспечивало усиленное поступление кислорода и питательных веществ к нейронам в процессе тестирования.

Таблица 3

Динамика локальных потенциалов в пяти стандартных отведениях к усредненному УПП у футболистов с различными особенностями вегетативной регуляции сердечного ритма, $M \pm SD$

ВСР / УПП	{УПП}	F#	C#	O#	Td#	Ts#
В начале тренировочного мезоцикла						
III тип	10,26 ± 0,24	1,34 ± 0,14	2,24 ± 0,20	-2,46 ± 0,23	-1,76 ± 0,03	0,64 ± 0,11
III тип, ФН	10,16 ± 0,21	-1,66 ± 0,17***	-1,86 ± 0,06***	0,34 ± 0,15***	-0,96 ± 0,12*	4,14 ± 0,04***
I тип	13,06 ± 0,25	1,64 ± 0,14	2,04 ± 0,08	-2,86 ± 0,15	0,74 ± 0,02	-1,56 ± 0,07
I тип, ФН	17,92 ± 0,35**	3,58 ± 0,32***	2,98 ± 0,12**	-4,22 ± 0,18**	0,98 ± 0,04	-3,32 ± 0,11***
В конце тренировочного мезоцикла						
III тип	17,66 ± 1,25	-0,46 ± 0,12	1,74 ± 0,18	1,24 ± 0,11	-2,56 ± 0,25	0,04 ± 0,02
III тип, ФН	25,2 ± 1,43**	-0,9 ± 0,15***	2,6 ± 0,07**	0,9 ± 0,23*	0,1 ± 0,10***	-2,7 ± 0,15***
I тип	23,74 ± 1,32	1,06 ± 0,04	1,86 ± 0,17	0,36 ± 0,12	-3,24 ± 0,31	-0,04 ± 0,02

ВСР / УПП	{УПП}	F#	C#	O#	Td#	Ts#
I тип, ФН	33,48 ± 1,51**	1,62 ± 0,25**	4,22 ± 0,14***	0,12 ± 0,17**	-0,78 ± 0,12**	-5,18 ± 0,21***
II тип	36,54 ± 1,62	-5,04 ± 0,14	5,16 ± 0,07	3,26 ± 0,12	-3,04 ± 0,17	-0,34 ± 0,15
II тип, ФН	24 ± 1,12*	-1,5 ± 0,11**	-3,8 ± 0,15***	2,3 ± 0,16*	-1,4 ± 0,23**	4,4 ± 0,34***
IV тип	31,9 ± 1,45	0,9 ± 0,22	1,6 ± 0,08	3,7 ± 0,05	-4,8 ± 0,32	-1,4 ± 0,04
IV тип, ФН	43,38 ± 1,72*	3,92 ± 0,35***	3,02 ± 0,27***	6,72 ± 0,17**	-10,58 ± 0,53***	-3,08 ± 0,11***

Примечание: достоверные отличия от соответствующего показателя до и после физической нагрузки (ФН) при * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

В завершение отразим динамику локальных потенциалов у футболистов с различными особенностями вегетативной регуляции сердечного ритма в конце тренировочного мезоцикла на стандартную нагрузку.

У атлетов III типа ВСР произошло достоверное усиление местного энергообмена в лобной (на 95,6 %, $p < 0,001$) и центральной (на 49,4 %, $p < 0,01$) зонах, что обеспечило повышение {УПП} на 42,6 % ($p < 0,01$). В правой височной области было зарегистрировано увеличение локального потенциала на 103,9 % ($p < 0,001$), а в левом отведении — снижение в 6,8 раза ($p < 0,001$), что способствовало смене знака межполушарной разницы в сторону субдоминантного соподчинения, снижало риск переутомления нейронных сетей, позволяло мозгу экономить энергетические ресурсы и адекватно реагировать на новые внешние условия деятельности. Подтверждением этого заключения послужило тенденциозное уменьшение ($p > 0,05$) локального потенциала в затылочной области, обусловленное снижением зрительной активности в условиях ограниченного визуального контакта (экспериментатор — обследованный) в процессе тестирования.

У спортсменов I типа ВСР на фоне интенсивной для их организма нагрузки произошло максимальное увеличение локального потенциала в центральной области на 126,8 % ($p < 0,001$) и в нижней лобной зоне на 52,8 % ($p < 0,01$). Параметры усредненного {УПП} по отношению к фону существенно выросли — на 41,1 % ($p < 0,01$). Значения локального потенциала выраженно снижались в затылочном (на 66,7 %, $p < 0,01$), правом (на 75,9 %, $p < 0,01$) и левом (в 12,8 раз, $p < 0,001$) височных отведениях, что свидетельствовало о напряжении адаптационных механизмов, направленных на поддержание гомеостаза в силу временного снижения активности этих мозговых структур для сохранения энергетических ресурсов.

У атлетов II типа ВСР после субмаксимального теста отмечалось достоверное снижение местного УПП в большинстве зон регистрации от 29,4 ($p < 0,05$) в затылочной до 173,6 % ($p < 0,001$) в центральной области.

Причем максимально было вовлечено в работу доминантное полушарие с ростом $Ts\#$ в 13,9 раза ($p < 0,001$). Подобное состояние было обусловлено чрезмерной активацией нейронов ведущей гемисферы, их функциональным истощением, поскольку интенсивная активность требует значительных энергетических затрат, а механизмы восстановления не успевали компенсировать потери.

У спортсменов с IV типом вегетативной регуляции сердечного ритма после стандартного теста уровень локального потенциала существенно возрастал в затылочной (на 81,6 %, $p < 0,01$), центральной (на 88,7 %, $p < 0,01$) и нижней лобной области в 3,4 % раза ($p < 0,001$). При этом височные доли ($Td\#$, $Ts\#$) испытывали гиперстимуляцию, что приводило к их функциональному истощению на 120,4 % ($p < 0,001$) от исходного уровня, что уменьшало поступление кислорода и питательных веществ к нейронам, снижая их биоэлектрическую активность.

Заключение

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. В начале эксперимента у футболистов было обнаружено наличие двух типов вегетативной регуляции с умеренным доминированием автономного (III тип) и центрального (I тип) ее контуров. Результаты в анаэробной работоспособности у спортсменов III группы были наивысшими. В конце тренировочного цикла были выявлены представители всех четырех типов вегетативной регуляции, в том числе с крайними формами их адаптационных проявлений. Наибольший относительный прирост в тесте был показан у спортсменов с умеренным доминированием автономного звена регуляции (III тип), а наименьшие параметры субмаксимальной мощности отмечены у представителей с выраженным преобладанием центрального механизма управления ритмом сердца (II тип).

2. Регистрация монополярно зарегистрированных значений уровня постоянных потенциалов мозга показала, что в начале тренировочного цикла стандартная нагрузка у футболистов третьей группы не превышала адаптационные возможности их организма, происходила без изменения динамических характеристик межполушарной асимметрии, что считалось признаком нейрофизиологической стабильности церебрального метаболизма. У спортсменов же I группы было обнаружено наличие легкого стресса при верхней границе нормы омега-потенциала.

3. Влияние тренировочного процесса отразилось в повышении субмаксимальной мощности у представителей всех групп обследованных, но с разным уровнем ее относительного прироста и вкладом нейронального метаболизма в изученных отделах головного мозга. Так, у представителей с умеренным доминированием автономного контура регуляции (III тип) наибольшие

значения анаэробной работоспособности не привели к нарушению принципа куполообразности распределения УПП, при повышении его энергетического обмена в наибольшей степени в нижней лобной области. У атлетов же IV группы наивысшие значения омега-потенциала были обнаружены в затылочном отведении, что напрямую отражало нарушение принципа куполообразности, его нормального распределения и межполушарного градиента и свидетельствовало о гиперреакции организма на стандартное тестирование. У спортсменов с преобладанием центрального звена регуляции (I тип) средние дельты прироста субмаксимальной мощности сопровождалась ростом ацидоза преимущественно в центральном отведении, с инверсией полушарного доминирования в правую сторону. У футболистов же II группы наименьшие сдвиги в анаэробной работоспособности были обусловлены нарушением принципа куполообразности как в сагиттальной, так и во фронтальной плоскости, достоверным снижением УПП во всех монополярных отведениях, что характеризовалось переутомлением их организма.

4. Сравнение локальных потенциалов в разных отведениях с усредненным УПП позволило точно идентифицировать области мозга, связанные с гипоксией в процессе субмаксимального тестирования в зависимости от доминирующего типа вегетативной регуляции без привязки к удаленному референтному электроду. Было установлено, что в процессе эксперимента наиболее чувствительными к повышению омега-потенциала в III группе были локальные изменения в центральной и затылочной областях, в I — в центральной и нижней лобных зонах, во II — в затылочном и левом височных отведениях. В IV типе регуляции было выявлено генерализованное усиление энергетического метаболизма в большинстве точек регистрации уровня постоянного потенциала за исключением латеральных (височных) структур мозга.

Направленность сдвигов уровня постоянных потенциалов головного мозга у футболистов на стандартную нагрузку лимитировалось в значительной степени его исходными значениями и этапом тренировочного периода. Только в последних (II и IV) типах вегетативной регуляции сердечного ритма в конце эксперимента параметры энергетического обмена у атлетов соответствовали критерию значительного повышения от нормы, что требует оперативного контроля их текущего состояния даже в микроциклах специализированной подготовки. Включение протоколов нейроэнергокартирования в практику медико-биологического сопровождения спорта — ключ к объективной оценке функционального состояния головного мозга, адаптационных резервов и эффективности тренировочного процесса.

Список источников

1. Адаптационная реактивность метаболизма мозга как универсальный патогенетический фактор развития болезни и реабилитационных возможностей организма / В. И. Шмырев, Л. П. Соколова, И. В. Князева и др. // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2013. № 3. С. 53–56. EDN: RWUGOF.

2. Анализ распределения уровня постоянного потенциала головного мозга в оценке функционального состояния организма (обзор) / И. С. Депутат, А. Н. Нехорошкова, А. В. Грибанов и др. // Экология человека. 2015. № 10. С. 27–36. EDN: UMDFGN.
3. Басанцова Н. Ю., Тибеккина Л. М., Шишкин А. Н. Роль вегетативной нервной системы в развитии цереброкардиальных нарушений // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. 2017. Т. 117. № 11. С. 153–160. <https://doi.org/10.17116/jnevro2017117111153-160>. EDN: ZXGAPZ.
4. Боровова А. И., Фокин В. Ф. Особенности двухфакторной модели Г. Айзенка у подростков разного темперамента и фонового уровня постоянных потенциалов головного мозга // Асимметрия. 2021. Т. 15, № 4. С. 27–37. <https://doi.org/10.25692/ASY.2021.15.4.003>. EDN: FBKKIZ.
5. Влияние генетических факторов на нейрофизиологические механизмы нейродегенеративных заболеваний / Н. В. Пономарева, В. Ф. Фокин, Е. И. Рогаев, С. Н. Иллариошкин // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. 2018. Т. 12. (Специальный выпуск). С. 46–54. <https://doi.org/10.25692/ACEN.2018.5.6>. EDN: EMWGYW.
6. Кузнецов В. Д., Аржаков В. В., Черный В. С. Оценка профессиональной работоспособности военнослужащих Воздушно-десантных войск при выполнении специальных задач в суточном наряде на основе анализа вариабельности ритма сердца // Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки. 2023. № 3 (51). С. 79–89. <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2023.51.3.06>. EDN: GSXPQC.
7. Налетов А. А., Селиверстова В. В., Петров А. Б. Изменения активности коры головного мозга и максимальной силы мышц кисти после произвольной гипервентиляции // Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки. 2024. № 3 (55). С. 53–61. <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2024.55.3.04>. EDN: NCRNBV.
8. Нейровизуализационный подход для выявления биомаркеров рабочей памяти у больных с хронической ишемией мозга / В. Ф. Фокин, Н. В. Пономарева, Р. Н. Коновалов и др. // Вестник Российского государственного медицинского университета. 2024. № 5. С. 65–72. <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2024.039>. EDN: XUNGRQ.
9. Показатели вариабельности сердечного ритма у профессиональных футболистов при различных режимах анаэробного тестирования в динамике подготовительного периода / П. А. Терехов, Т. М. Брук, Е. А. Киндюхин, О. С. Глазачев // Спортивная медицина: наука и практика. 2024. Т. 14. № 2. С. 5–15. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.7>. EDN: LNAMEP.
10. Прадхан П., Шуненков Д. А., Воронцова В. С. Оценка функционального состояния головного мозга методом нейроэнергокартирования как способ оптимизации реабилитационных мероприятий: опыт применения // Медико-социальная экспертиза и реабилитация. 2021. Т. 24. № 1. С. 13–21. <https://doi.org/10.17816/MSER63542>. EDN: JKBBCY.
11. Сравнительная характеристика влияния упражнений различных видов спорта на центральную нервную систему студентов / М. А. Овсянникова, Е. Е. Биндусов, Е. А. Янкина и др. // Человек. Спорт. Медицина. 2024. Т. 24. № 1. С. 42–48. <https://doi.org/10.14529/hsm240105>. EDN: EVHKRW.
12. Степура Е. Е. Оценка функциональных резервов студентов с разным вегетативным статусом // Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки. 2022. № 4 (48). С. 77–86. <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2022.48.4.7>. EDN: TJQDXS.

13. Терехов П. А., Терехова А. А., Сафронов С. С. Оценка энергетического метаболизма головного мозга спортсменов различных специализаций // Ценности, традиции и новации современного спорта: материалы II Международного научного конгресса. В 3-х ч. Ч. 1. Минск: Белорусский государственный университет физической культуры. 2022. С. 361–366. EDN: IWVQQS.

14. Терехов П. А., Киндюхин Е. А. Сдвиги нейронального метаболизма клеток головного мозга у спортсменов на активный ортостаз // Сборник научных трудов молодых ученых университета: Сборник статей. Смоленск: Смоленский государственный университет спорта. 2025. С. 163–166. EDN: EGVARE.

15. Фокин В. Ф., Пономарева Н. В. Асимметрия нейросетей покоя по данным фМРТ // Асимметрия. 2023. Т. 17. № 3. С. 53–58. <https://doi.org/10.25692/ASY.2023.17.3.003>. EDN: AQTRRJ.

16. Фрай А. В., Воронцова В. С., Пичугина И. М. Использование нейроэнергокартирования для построения персонализированного подхода к когнитивной реабилитации пациентов с сосудистыми поражениями головного мозга // Медико-социальная экспертиза и реабилитация. 2020. Т. 23. № 1. С. 5–8. <https://doi.org/10.17816/MSER34232>. EDN: EQXWSI.

17. Шевченко О. И., Лахман О. Л. Состояние церебрального энергетического обмена медицинских работников по данным нейроэнергокартирования // Гигиена и санитария. 2024. Т. 103. № 8. С. 846–850. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-8-846-850>. EDN: UXQPAZ.

18. Шлык Н. И. Нормативы вариационного размаха кардиоинтервалов в покое и ортостазе при разных типах регуляции у лыжников-гонщиков в тренировочном процессе // Теория и практика физической культуры. 2021. № 12. С. 12–15. EDN: OLUUYO.

References

1. Shmyrev V. I., Sokolova L. P., Knyazeva I. V., Avetisova K. N., Evtushenko P. P., Obmanov V. V. Adaptive reactivity of brain metabolism as a universal pathogenetic factor in disease development and the body's rehabilitation capabilities. *Kremlin Medicine. Clinical Bulletin*. 2013;3:53–56. EDN: RWUGOF. (In Russ.).

2. Deputat I. S., Nekhoroshkova A. N., Gribov A. V., Bol'shevidceva I. L., Starceva L. F. Analysis of the distribution of the level of constant potential of the brain in assessing the functional state of the organism (review). *Human Ecology*. 2015;10:27–36. EDN: UMDFGN. (In Russ.).

3. Basancova N. Yu., Tibekina L. M., Shishkin A. N. The role of the autonomic nervous system in the development of cerebrocardial disorders. *S. S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2017;117(11):153–160. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/jnevro2017117111153-160>. EDN: ZXGAPZ.

4. Boravova A. I., Fokin V. F. Features of G. Eysenck's two-factor model in adolescents with different temperaments and background levels of constant brain potentials. *Asymmetry*. 2021;15(4):27–37. (In Russ.). <https://doi.org/10.25692/ASY.2021.15.4.003>. EDN: FBKKIZ.

5. Ponomareva N. V., Fokin V. F., Rogaev E. I., Illarioshkin S. N. The influence of genetic factors on the neurophysiological mechanisms of neurodegenerative diseases. *Annals of Clinical and Experimental Neurology*. 2018;12(S):46–54. (In Russ.). <https://doi.org/10.25692/ACEN.2018.5.6>. EDN: EMWGYW.

6. Kuznecov V. D., Arzhakov V. V., Chernyj V. S. Assessing the professional performance of Airborne Forces personnel performing special tasks on daily duty based on heart rate variability analysis. *Bulletin of Moscow State Pedagogical Univ. Series: Natural Sciences*. 2023;3(51):79–89. (In Russ.). <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2023.51.3.06>. EDN: GSXPQC.
7. Naletov A. A., Seliverstova V. V., Petrov A. B. Changes in cerebral cortex activity and maximum hand muscle strength after voluntary hyperventilation. *Bulletin of Moscow State Pedagogical Univ. Series: Natural Sciences*. 2024;3(55):53–61. (In Russ.). <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2024.55.3.04>. EDN: NCRNBV.
8. Fokin V. F., Ponomareva N. V., Konovalov R. N., Medvedev R. B., Boravova A. I., Lagoda O. V., Krotenkova M. V., Tanashyan M. M. A neuroimaging approach to identifying working memory biomarkers in patients with chronic cerebral ischemia. *Bulletin of the Russian State Medical University*. 2024;5:65–72. (In Russ.). <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2024.039>. EDN: XUNGRQ.
9. Terekhov P. A., Bruk T. M., Kindyuhin E. A., Glazachev O. S. Heart rate variability indicators in professional football players during different anaerobic testing regimens during the preparatory period. *Sports Medicine: Science and Practice*. 2024;14(2):5–15. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.7>. EDN: LNAMHP.
10. Pradhan P., Shunenko D. A., Voroncova V. S. Assessing the functional state of the brain using neuroenergy mapping as a method for optimizing rehabilitation measures: application experience. *Medical and Social Expertise and Rehabilitation*. 2021;24(1):13–21. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/MSER63542>. EDN: JKBB CY.
11. Ovsyannikova M. A., Bindusov E. E., Yankina E. A., Gorskaya I. Yu., Zvereva Z. F. Comparative analysis of the effects of various sports on the central nervous system of students. *Human. Sports. Medicine*. 2024; 24(1):42–48. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/hsm240105>. EDN: EVHKRW.
12. Stepura E. E. Evaluation of functional reserves of students with different vegetative status. *Bulletin of Moscow State Pedagogical Univ. Series: Natural Sciences*. 2022;4(48):77–86. (In Russ.). <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2022.48.4.7>. EDN: TJQDXS.
13. Terekhov P. A., Terekhova A. A., Safronov S. S. Evaluation of brain energy metabolism in athletes of various specializations. *Values, Traditions, and Innovations in Modern Sports: Proceedings of the II International Scientific Congress*. Minsk: Belarusian State University of Physical Education. 2022;1:361–366. EDN: IWVQQS. (In Russ.).
14. Terekhov P. A., Kindyuhin E. A. Shifts in neuronal metabolism of brain cells in athletes toward active orthostasis. *Collection of scientific papers by young university scientists: Collection of articles*. Smolensk: Smolensk State University of Sport. 2025;163–166. EDN: EGVARF. (In Russ.).
15. Fokin V. F., Ponomareva N. V. Asymmetry of resting-state neural networks according to fMRI data. *Asymmetry*. 2023;17(3):53–58. (In Russ.). <https://doi.org/10.25692/ASY.2023.17.3.003>. EDN: AQTRRJ.
16. Fraj A. V., Voroncova V. S., Pichugina I. M. Using neuroenergy mapping to develop a personalized approach to cognitive rehabilitation for patients with cerebrovascular lesions. *Medical and Social Expertise and Rehabilitation*. 2020;23(1):5–8. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/MSER34232>. EDN: EQXWSI.
17. Shevchenko O. I., Lahman O. L. Cerebral energy metabolism in healthcare workers based on neuroenergy mapping data. *Hygiene and sanitation*. 2024;103(8):846–850. (In Russ.). <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-8-846-850>. EDN: UXQPAZ.

18. Shlyk N. I. Standards for the variation range of RR intervals at rest and orthostasis with different types of regulation in cross-country skiers during training. Theory and Practice of Physical Education. 2021;12:12–15. EDN: OLUUYO. (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the authors:

Терехов Павел Александрович — доктор биологических наук, доцент, доцент кафедры биологических дисциплин, Смоленский государственный университет спорта, Смоленск, Россия.

Terekhov Pavel Alexandrovich — Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Biological Disciplines, Smolensk State University of Sports, Smolensk, Russia.

terechov_86@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7820-9942>

Киндюхин Егор Александрович — аспирант кафедры биологических дисциплин, Смоленский государственный университет спорта, Смоленск, Россия.

Kindyukhin Egor Alexandrovich — Postgraduate Student of the Department of Biological Disciplines, Smolensk State University of Sports, Smolensk, Russia.

egor-k2@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0004-1048-4296>

Ефременков Евгений Константинович — аспирант кафедры биологических дисциплин, Смоленский государственный университет спорта, Смоленск, Россия.

Efremenkov Evgeny Konstantinovich — Postgraduate Student of the Department of Biological Disciplines, Smolensk State University of Sports, Smolensk, Russia.

eefremenkov488@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-8338-0114>

Вклад авторов:

Павел Александрович Терехов — общее руководство и координация работы; концептуализация исследования, включая формулировку идеи, постановку целей и задач; разработка дизайна и методов исследования; визуализация (разработка, оформление таблиц и рисунков).

Егор Александрович Киндюхин — проведение исследования/эксперимента (реализация, сбор данных); формальный анализ (статистическая обработка данных).

Евгений Константинович Ефременков — сбор и обработка современных литературных источников по теме исследования; подготовка черновика рукописи, исправление и дополнение текста; формулировка выводов.

Authors' contributions:

Pavel Aleksandrovich Terekhov — general management and coordination of work; conceptualization of research, including formulation of ideas, setting goals and objectives;

development of research design and methods; visualization (development, design of tables and figures).

Egor Aleksandrovich Kindyukhin — conducting research / experiment (implementation, data collection); formal analysis (statistical data processing).

Evgeny Konstantinovich Efremenkov — collection and processing of modern literary sources on the research topic; preparation of a draft manuscript, correction and addition of the text; formulation of conclusions.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию: 20.01.2026;
одобрена после доработки: 08.04.2026;
принята к публикации: 09.04.2026.

The article was submitted: 20.01.2026;
approved after reviewing: 08.04.2026;
accepted for publication: 09.04.2026.