Дата публикации: 25.12.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_S1_2
УДК 612.1/.8

Publication date: 25.12.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_S1_2
UDC 612.1/.8

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОТЕНЦИРУЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КОРКОВЫЕ СТРУКТУРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА У ХОККЕИСТОВ

Т.М. Брук, Н.С. Менькова
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Смоленский государственный университет спорта», г. Смоленск, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Интенсивные нагрузки у высококвалифицированных спортсменов могут нарушать церебральный гомеостаз. Низкоинтенсивное лазерное излучение обладает метаболическим потенциалом, однако его нейрофизиологические эффекты изучены недостаточно. ***Методы.*** Обследованы 25 хоккеистов (18-23 лет). Энергетическое состояние коры оценивали методом нейроэнергокартографии по уровню постоянных потенциалов до и после анаэробной нагрузки. Курс низкоинтенсивного лазерного излучения (λ=0,89 мкм, 50 Вт, 1500 Гц, 8 мин) проводили системно в течение 8 сеансов. ***Результаты.*** После курса выявлено статистически значимое снижение реакции уровня постоянных потенциалов на нагрузку в центральном и височных отведениях, уменьшение средних значений по всем отведениям. ***Заключение.*** Низкоинтенсивное лазерное излучение снижает функциональное напряжение сенсомоторных и височных зон и оптимизирует корковый энергообмен при анаэробной нагрузке, повышая устойчивость мозга к стрессу.
Ключевые слова: низкоинтенсивное лазерное излучение, нейроэнергокартография, уровень постоянных потенциалов, кора головного мозга, хоккеисты, анаэробная нагрузка, нейрофизиология.

NEUROPHYSIOLOGICAL ASPECTS OF THE POTENTIATING EFFECT OF LOW-LEVEL LASER THERAPY ON CORTICAL STRUCTURES OF THE BRAIN IN HOCKEY PLAYERS

T.M. Bruk, N.S. Menkova
Smolensk State University of Sports, Smolensk, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Intensive exercise in elite athletes can disrupt cerebral homeostasis. Low-level laser therapy possesses metabolic potential, but its neurophysiological effects are not sufficiently studied. ***Methods.*** Twenty-five ice hockey players (18-23 years) were examined. The energy state of the cortex was assessed using neuroenergocartography via direct current potential level before and after an anaerobic exercise test. A course of low-level laser therapy (λ=0.89 μm, 50 W, 1500 Hz, 8 min) was administered systemically over 8 sessions. ***Results.*** Following the course, a statistically significant reduction in direct current potential level response to exercise was revealed in the central and temporal leads, along with a decrease in the mean values in all the leads. ***Conclusion.*** Low-level laser therapy reduces functional tension in the sensorimotor and temporal areas and optimizes cortical energy metabolism during anaerobic exercise, thereby enhancing brain resilience to stress.
Keywords: low-level laser therapy, neuroenergocartography, direct current potential level, cerebral cortex, hockey players, anaerobic exercise, neurophysiology.

Введение. Высококвалифицированные спортсмены в процессе тренировок и соревнований подвергаются экстремальным физическим нагрузкам, которые могут нарушать гомеостаз организма, включая энергетический метаболизм коры головного мозга [1]. Нарушение церебрального гомеостаза приводит к снижению физической работоспособности, ухудшению когнитивных функций и увеличению риска переутомления. Для поддержания оптимального функционального состояния и повышения адаптационных резервов применяются различные физиотерапевтические методы, среди которых низкоинтенсивное лазерное излучение (НИЛИ) занимает особое место благодаря своим антиоксидантным, иммунокорригирующим и метаболическим эффектам [1-3].

НИЛИ активно используется в клинической практике для ускорения регенеративных процессов, нормализации кислотно-

щелочного равновесия и повышения ферментативной активности [4]. В спортивной физиологии исследования НИЛИ ограничены несмотря на его потенциал в оптимизации энергетического обмена и восстановления. Ряд исследований демонстрирует, что НИЛИ активирует клеточные процессы, увеличивает проницаемость мембран и стимулирует синтез аденозинтрифосфата, что способствует улучшению биоэнергетического статуса тканей [5, 6]. Однако нейрофизиологические механизмы влияния НИЛИ на энергетический метаболизм мозга спортсменов, в частности на амплитудные характеристики биоэлектрической активности, остаются недостаточно изученными.

Цель исследования – выявить амплитудные характеристики уровня постоянных потенциалов (УПП) коры головного мозга у высококвалифицированных хоккеистов под воздействием курсового системного применения низкоинтенсивного лазерного излучения (λ=0,89 мкм, 50 Вт, 1500 Гц) в условиях специфических анаэробных нагрузок.

Методы и организация исследования. Исследование проводилось в формате одноцентрового проспективного эксперимента с измерением до и после вмешательства. В исследовании участвовали 25 высококвалифицированных спортсменов-хоккеистов мужского пола хоккейного клуба Смоленского государственного университета спорта в возрасте от 18 до 23 лет. Критерии включения: отсутствие острых и хронических заболеваний в стадии обострения, согласие на участие. Критерии исключения: наличие противопоказаний к физиотерапевтическим процедурам и нагрузочному тестированию. Исследование проведено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации и одобрено локальным этическим комитетом Смоленского государственного университета спорта. От всех участников было получено письменное информированное согласие. Обработка и хранение персональных данных участников осуществлялись с соблюдением требований конфиденциальности.

Для оценки энергетического состояния головного мозга применялся метод нейроэнергокартографии (НЭК), основанный на регистрации УПП [5, 7]. Монополярная регистрация УПП проводилась в 5 отведениях по системе 10-20%: нижне-лобном (Fz), центральном (Cz), затылочном (Oz), а также в правой (Td) и левой (Ts) височных областях. Референтный электрод размещался на запястье правой руки. Использовался аппаратно-программный комплекс для НЭК. Сначала УПП фиксировались в состоянии относительного физиологического покоя (фон), затем – сразу после проведения анаэробного нагрузочного теста.

Анаэробная нагрузка проводилась на велоэргометре «Ergomedic 894E Peak Bike» («Monark», Швеция) по стандартному протоколу для оценки анаэробной производительности (45-секундный тест Вингейта с нагрузкой, зависящей от массы тела).

Лазерное излучение применялось в течение 8 дней: первые 5 дней – ежедневно, последующие 3 сеанса – через день. Использовался медицинский лазерный прибор «Мустанг 2000+» с длиной волны (λ) 0,89 мкм. Воздействие проводилось импульсным матричным излучателем (МЛ01К-2000) с пиковой мощностью на выходе 50 Вт, частотой следования импульсов 1500 Гц. Экспозиция составляла 8 минут. Для изучения системных эффектов воздействие осуществлялось на область четырехглавой мышцы бедра с обеих сторон.

Обработка данных проводилась с использованием программы Statistica 12.0. Проверка распределения на нормальность проводилась с помощью критерия Вилкоксона для зависимых выборок. Данные представлены в виде медианы (Me), квартилей (Q1; Q3) и стандартного отклонения (σ). Уровень статистической значимости различий принимался при $p<0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. На первом этапе оценивали изменения УПП в ответ на анаэробную нагрузку до курса НИЛИ. Было зафиксировано статистически значимое увеличение УПП в лобном отведении (Fz) с 4,78 мВ до 10,28 мВ ($p=0,049$), в левом височном отведении (Ts) с 1,16 мВ до 6,25 мВ ($p=0,013$), а также в среднем значении по всем отведениям (Xср) с 6,51 мВ до 9,61 мВ ($p=0,040$). Показатели УПП до курса НИЛИ представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели УПП до и после анаэробной нагрузки до курса НИЛИ, мВ (n=25)

Отведения		Min±Max	Me [Q1; Q3]	M±σ	P
Fz	До	-12,49±16,97	4,78 [0,82; 12,44]	5,02±8,59	0,049*
	После	-5,78±20,59	10,28 [2,81; 14,74]	8,60±8,19	
Cz	До	3,38±41,04	16,31 [13,13; 21,75]	17,53±9,18	0,952
	После	4,95±30,44	18,10 [10,39; 22,56]	10,35±10,95	
Oz	До	-7,19±40,13	7,71 [5,33; 11,19]	10,35±10,95	0,502
	После	3,52±37,10	9,02 [7,06; 12,70]	11,64±8,91	
Td	До	-18,45±31,33	4,66 [-1,40; 12,66]	6,08±12,47	0,194
	После	-1,28±40,00	7,24 [5,12; 11,47]	10,16±10,44	
Ts	До	-3,11±19,06	1,16 [-1,26; 6,64]	3,03±5,98	0,013*
	После	-0,55±33,74	6,25 [2,49; 11,02]	8,34±8,63	
Xcp	До	0,48±24,58	6,51 [5,70; 8,76]	8,40±5,86	0,040*
	После	4,24±20,47	9,61 [7,50; 15,58]	11,11± 5,02	

Примечание здесь и далее: УПП – уровень постоянных потенциалов; НИЛИ – низкоинтенсивное лазерное излучение; Fz – лобное отведение; Cz – центральное отведение; Oz – затылочное отведение; Td – правое височное отведение; Ts – левое височное отведение; Xcp – среднее значение по всем отведениям; Me – медиана; Q1 – нижний квартиль; Q3 – верхний квартиль; σ – стандартное отклонение; * – статистически значимые различия (p<0,05).

После курса НИЛИ картина изменений УПП в ответ на идентичную нагрузку существенно изменилась. Было выявлено статистически значимое снижение уровня постоянных потенциалов в центральном отведении (Cz) с 12,08 мВ до 10,12 мВ (p=0,030), в правом височном (Td) – с 5,03 мВ до 0,41 мВ (p=0,040), в левом височном (Ts) – с 1,72 мВ до -1,81 мВ (p=0,047), а также в среднем значении по всем отведениям (Xcp) – с 6,48 мВ до 4,17 мВ (p=0,049) (табл. 2).

Таблица 2

Показатели УПП до и после анаэробной нагрузки после курса НИЛИ, мВ (n=25)

Отведения		Min±Max	Me [Q1; Q3]	M±σ	P
Fz	До	-6,97±23,96	5,33 [2,65; 9,30]	5,88±7,21	0,119
	После	-5,41±17,40	0,83 [-3,19; 5,41]	2,56±7,14	
Cz	До	-1,62±29,78	12,08 [6,99; 22,31]	13,84±8,01	0,030*
	После	-1,47±26,62	10,12 [5,49; 14,95]	10,75±7,42	
Oz	До	-5,89±19,41	4,01 [1,29; 12,43]	6,12±7,91	1,000
	После	-12,87±21,06	6,45 [-0,98; 12,08]	5,93±8,93	
Td	До	-7,53±33,16	5,03 [-4,77; 10,19]	6,39±11,48	0,040*
	После	-10,64±23,76	0,41 [-5,88; 7,71]	2,03±10,02	
Ts	До	-12,60±22,52	1,72 [-3,85; 10,02]	3,99±9,83	0,047*
	После	-14,87±23,82	-1,81 [-4,75; 4,26]	0,55±9,79	
Xcp	До	-4,29±21,06	6,48 [1,73; 10,51]	7,10±7,55	0,049*
	После	-8,63±16,03	4,17 [0,56; 7,87]	4,37±7,00	

Сравнительный анализ значений УПП после физической нагрузки до и после курса низкоинтенсивного лазерного излучения (табл. 3) подтвердил наличие статистически значимых различий в лобном (p=0,035), центральном (p=0,049), правом височном

(p=0,030), левом височном (p=0,049) отведениях и в среднем значении Xcp (p=0,009).

Проведенное исследование позволило выявить специфические нейрофизиологические изменения в коре головного мозга под влиянием курсового системного применения НИЛИ. Исходно анаэробная нагрузка вызывала значительное увеличение амплитуды УПП, особенно в лобной (Fz) и левой височной (Ts) областях, что согласуется с данными литературы о напряжении адаптационных механизмов и активации метаболических процессов в коре в условиях гипоксии и ацидоза [5, 8].

Таблица 3

Сравнение показателей УПП после физической нагрузки до курса НИЛИ и после курса, мВ (n=25)

Отведения		Min±Max	Me [Q1; Q3]	M±σ	P
Fz	До НИЛИ-После нагрузки	-5,78±20,59	10,28 [2,81; 14,74]	8,60±8,19	0,035*
	После НИЛИ-После нагрузки	-5,41±17,40	0,83 [-3,19; 5,41]	2,56±7,14	
Cz	До НИЛИ-После нагрузки	4,95±30,44	18,10 [10,39; 22,56]	16,77±7,57	0,049*
	После НИЛИ-После нагрузки	-1,47±26,62	10,12 [5,49; 14,95]	10,75±7,42	
Oz	До НИЛИ-После нагрузки	3,52±37,10	9,02 [7,06; 12,70]	11,64±8,91	0,104
	После НИЛИ-После нагрузки	-12,87±21,06	6,45 [-0,98; 12,08]	5,93±8,93	
Td	До НИЛИ-После нагрузки	-1,28±40,00	7,24 [5,12; 11,47]	10,16±10,44	0,030*
	После НИЛИ-После нагрузки	-10,64±23,76	0,41 [-5,88; 7,71]	2,03±10,02	
Ts	До НИЛИ-После нагрузки	-0,55±33,74	6,25 [2,49; 11,02]	8,34±8,63	0,049*
	После НИЛИ-После нагрузки	-14,87±23,82	-1,81 [-4,75; 4,26]	0,55±9,79	
Xcp	До НИЛИ-После нагрузки	4,24±20,47	9,61 [7,50; 15,58]	11,11±5,02	0,009*
	После НИЛИ-После нагрузки	-8,63±16,03	4,17 [0,56; 7,87]	4,37±7,00	

Курсовое применение НИЛИ привело к качественному изменению реакции коры на нагрузку. Статистически значимое снижение амплитуды УПП после курса НИЛИ было зарегистрировано в центральном (Cz) и височных (Td, Ts) отведениях. Центральное отведение (Cz) соответствует сенсомоторной коре, играющей ключевую роль в управлении произвольными движениями и их координацией [9]. Височные области связаны с обработкой слуховой информации, вестибулярной функцией и интеграцией сенсорных сигналов, что критически важно в командных видах спорта, таких как хоккей [10]. Снижение амплитуды УПП в этих зонах после нагрузки на фоне НИЛИ свидетельствует о снижении функционального напряжения и более экономном протекании метаболических процессов [7]. Это можно интерпретировать как повышение эффективности работы данных корковых структур, что приводит к большей устойчивости церебрального гомеостаза к анаэробному стрессу.

Полученные данные раскрывают нейрофизиологические механизмы адаптогенного действия НИЛИ при системном применении. Снижение амплитуды УПП, рассматриваемое как маркер повышенного порога анаэробного обмена и стрессоустойчивости [5, 7], указывает на то, что НИЛИ потенцирует адаптационные резервы мозга, смещая энергообеспечение в сторону более эффективного аэробного пути.

Выявленные нейрофизиологические эффекты лежат в основе наблюдаемого терапевтического и адаптогенного действия НИЛИ. Полученные результаты обосновывают перспективность использования низкоинтенсивного лазерного излучения заданных параметров не только в спортивной физиологии для оптимизации тренировочного процесса и ускорения восстановления высококвалифицированных спортсменов, но и в клинической практике для коррекции состояний, сопровождающихся нарушением церебрального метаболизма и снижением адаптационного потенциала центральной нервной системы.

Заключение.

Установлено, что курсовое системное применение низкоинтенсивного лазерного

излучения (λ=0,89 мкм, 50 Вт, 1500 Гц) вызывает статистически значимое изменение амплитудных характеристик уровня постоянных потенциалов коры головного мозга у высококвалифицированных хоккеистов.

Выявлено снижение амплитуды УПП в ответ на анаэробную нагрузку после курса низкоинтенсивного лазерного излучения в сенсомоторной (центральное отведение Cz) и височных (Td, Ts) областях коры, что свидетельствует о снижении функционального напряжения и повышении эффективности метаболизма в данных церебральных структурах.

Полученные данные раскрывают нейрофизиологические механизмы адаптогенного действия НИЛИ, заключающиеся в оптимизации коркового энергообмена и повышении устойчивости церебрального гомеостаза к экстремальным нагрузкам.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эффект курсового низкоинтенсивного лазерного излучения на энергетическое состояние головного мозга спортсменов и скоростно-силовые компоненты мышечных сокращений / Т.М. Брук, К.Ю. Косорыгина, В.А. Правдивцев, А.В. Евсеев // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. – 2014. – № 2. – С. 40-47.
2. Москвин, С.В. Лазерное освечивание крови: основные терапевтические методы (систематический обзор литературы) / С.В. Москвин, А.А. Хадарцев // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2018. – № 1. – С. 1-4.
3. Ihsan, F.R.M. Low-level laser therapy accelerates collateral circulation and enhances microcirculation / F.R.M. Ihsan // Photomed. Laser Ther. – 2005. – Vol. 23. – No. 3. – P. 289-294.
4. Фокин В.Ф. Энергетическая физиология мозга / В.Ф. Фокин, Н.В. Пономарева. – Москва: Антидор, 2002. – 248 с.
5. Ващенко, А.С. Оценка устойчивых постоянных потенциалов головного мозга в контроле за уровнем функциональной готовности спортсменов к тренировочной и соревновательной деятельности / А.С. Ващенко, А.С. Павлов // Спорт и медицина. Сочи-2013: материалы IV-й Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. – Сочи, 2013. – С. 38-41.
6. Лазарева, Е.Н. Морфологические и цитологические эффекты низкоинтенсивного лазерного излучения. Обзор литературы / Е.Н. Лазарева, М.А. Еремушкин, В.В. Макашова // МНИЖ. – 2024. – № 9(147). – С. 1-4.
7. 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. 27-35.
8. Методы оценки энергетических процессов головногомозга(обзорлитературы)/З.Ф.Зверева, Н.П. Ванчакова, Е.В. Мирошник, Ф.С. Торубаров // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2024. – Т. 69. – № 6. – С. 64-70.
9. Objective neurophysiological measures of cognitive performance in elite ice hockey players / E.D. Kirby, K. Jones, N. Campbell [et al.] // Open Access J Sports Med. – 2025. – Vol. 16. – P. 15-24.
10. 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. – № 1. – С. 42-48.

REFERENCES

1. Bruk T.M., Kosorigina K.Yu., Pravdivtsev V.A., Evseyev A.V. Effect of low-intensive laser irradiation on brain energy condition of sportsmen and their force-velocity muscle contraction components. *Vestnik Smolenskoy Gosudarstvennoy Medicinskoy Akademii*, 2014, no. 2, pp. 40-47. (in Russ.)
2. Moskvin S.V., Khadartsev A.A. Laser blood illumination: the main therapeutic techniques (systemized literature review). *Journal of New Medical Technologies*, 2018, no. 1, pp. 141-150. (in Russ.)
3. Ihsan F.R.M. Low-level laser therapy accelerates collateral circulation and enhances microcirculation. *Photomed Laser Ther*, 2005, vol. 23(3), pp. 289-294.
4. Fokin V.F., Ponomareva N.V. Energy physiology of the brain. Moscow: Antidor Publ., 2002. 248 p. (in Russ.)
5. Vashchenko A.S., Pavlov A.S. Evaluation of steady-state direct-current brain potentials in monitoring athletes' functional readiness for training and competition. In: Sport and Medicine. Sochi-2013:

Proceedings of the 4th All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. Sochi, 2013. pp. 38-41. (in Russ.)
6. Lazareva E.N, Eremushkin M.A, Makashova V.V. Morphological and cytological effects of low-intense laser. A literature review. *International Research Journal*, 2024, no. 9, pp. 1-4. (in Russ.)
7. Deputat I.S., Nekhoroshkova A.N., Gribanov A.V., Bolshevidtseva I.L., Startseva L.F. Analysis of dc-potential level in assessment of body functional state (review). *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*, 2015, no. 10, pp. 27-35. (in Russ.)
8. Zvereva Z.F., Vanchakova N.P., Miroshnik E.V., Torubarov F.S. Methods for Evaluating the Energy Processes of the Brain (Literature Review). *Medical Radiology and Radiation Safety*, 2024, vol. 69(6), pp. 64-70. (in Russ.)
9. Kirby E.D., Jones K., Campbell N., Fickling S.D., D'Arcy R.C.N. Objective neurophysiological measures of cognitive performance in elite ice hockey players. *Open Access J Sports Med*. 2025, no. 16, pp. 15-24.
10. Ovsyannikova M.A., Bindusov E.E., Yankina E.A., Gorskaya I.Yu., Zvereva Z.F. Comparison of the effect of different sports on the central nervous system in university students. *Human. Sport. Medicine,* 2024, no. 1, pp. 42-48. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Татьяна Михайловна Брук – доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой биологических дисциплин Смоленского государственного университета спорта, Смоленск, e-mail: biologicheskixdisciplin@mail.ru.
Наталья Сергеевна Менькова – аспирант 4 курса кафедры биологических дисциплин Смоленского государственного университета спорта, Смоленск, e-mail: menkovanata@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Tatyana M. Bruk – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Biological Disciplines, Smolensk State University of Sports, Smolensk, e-mail: biologicheskixdisciplin@mail.ru.
Natalya S. Menkova – 4-year Postgraduate Student of the Department of Biological Disciplines, Smolensk State University of Sports, Smolensk, e-mail: menkovanata@mail.ru.

Для цитирования: Брук, Т.М. Нейрофизиологические аспекты потенцирующего воздействия низкоинтенсивного лазерного излучения на корковые структуры головного мозга у хоккеистов / Т.М. Брук, Н.С. Менькова // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № S1(35). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_S1_2

For citation: Bruk T.M., Menkova N.S. Neurophysiological aspects of the potentiating effect of low-level laser therapy on cortical structures of the brain in hockey players. *Modern Issues of Biomedicine*, 2025, vol. 9, no. S1(35). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_S1_2