DOI: https://doi.org/10.36425/rehab701995 EDN: DFCMAS

Радиотермометрия коры больших полушарий в диагностике лёгких спортивных черепно-мозговых травм и коррекция нарушений температурного баланса мозга методом краниоцеребральной гипотермии

О.А. Шевелев[1, 2], А.В. Смоленский[3], М.В. Петрова[1, 2], В.Е. Захарченко[1], С.С. Горбачев[3], М.Ю. Юрьев[1], М.А. Жданова[1]

[1] Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии, Москва, Россия;
[2] Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия;
[3] Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Лёгкие спортивные черепно-мозговые травмы часто остаются недооценёнными из-за стёртой клинической картины и стремления спортсменов продолжить тренировочный процесс. Повторные травмоопасные эпизоды на фоне физической гипертермии, снижения церебральной перфузии и гемодинамического «обкрадывания» могут приводить к формированию скрытых повреждений мозга. Неинвазивная радиотермометрия рассматривается как перспективный метод оперативной оценки церебральной температуры, а белок S100β — как возможный молекулярный маркер лёгких черепно-мозговых травм. Поскольку травма мозга сопровождается развитием фокальной гипертермии коры больших полушарий, представляется перспективным использование краниоцеребральной гипотермии в целях коррекции нарушений температурного баланса мозга и профилактики развития осложнений черепно-мозговых травм.

Цель исследования — изучить диагностический потенциал радиотермометрии и биомаркера S100β в слюне при лёгких спортивных черепно-мозговых травмах, а также эффективность терапевтической краниоцеребральной гипотермии для коррекции нарушений температурного баланса мозга после травмы.

Методы. В исследование включены 18 боксёров в возрасте 19–24 лет. Температуру коры регистрировали методом радиотермометрии в 18 симметричных областях за 30–40 минут до и через 25–30 минут после спарринга. Белок S100β определяли в слюне методом иммуноферментного анализа. У части спортсменов после спарринга проведён сеанс краниоцеребральной гипотермии длительностью 60 минут.

Результаты. После спарринга средняя температура коры мозга статистически значимо увеличилась (с 36,46±0,04°C до 37,23±0,04°C). Максимальная температура в зонах гипертермии достигала 38,1–40,9°C, а температурная гетерогенность (ΔT) увеличилась почти в 3 раза (с 1,34±0,05°C до 3,97±0,13°C). Концентрация S100β в слюне продемонстрировала тенденцию к росту (с 47,53±2,85 до 51,42±3,36 мкг/л), особенно при ΔT >4°C. Однократная процедура краниоцеребральной гипотермии эффективно снижала среднюю температуру коры до 35,5±0,22°C и уменьшала ΔT до 0,62±0,02°C.

Заключение. Неинвазивная радиотермометрия демонстрирует высокую чувствительность к скрытым температурным нарушениям при лёгких спортивных черепно-мозговых травмах, а повышение S100β может отражать степень повреждения. Краниоцеребральная гипотермия способствует нормализации церебральной температуры и потенциально снижает риск осложнений. Требуются расширенные исследования для уточнения диагностических критериев по радиотермометрии.

Ключевые слова: лёгкая спортивная черепно-мозговая травма; радиотермометрия коры больших полушарий; молекулярные маркеры повреждения мозга; краниоцеребральная гипотермия; температурный баланс.

Как цитировать:
Шевелев О.А., Смоленский А.В., Петрова М.В., Захарченко В.Е., Горбачев С.С., Юрьев М.Ю., Жданова М.А. Радиотермометрия коры больших полушарий в диагностике лёгких спортивных черепно-мозговых травм и коррекция нарушений температурного баланса мозга методом краниоцеребральной гипотермии // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2026. Т. 8, № 1. С. 17–25. DOI: 10.36425/rehab701995 EDN: DFCMAS

Рукопись получена: 30.01.2026 **Рукопись одобрена:** 05.02.2026 **Опубликована online:** 04.03.2026

ЭКО • ВЕКТОР

Статья доступна по лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International
© Эко-Вектор, 2026

DOI: https://doi.org/10.36425/rehab701995 EDN: DFCMAS

Cerebral Cortex Radiothermometry in the Diagnosis of Mild Sports-Related Traumatic Brain Injury and Correction of Brain Temperature Imbalance Using Cranio-Cerebral Hypothermia

Oleg A. Shevelev[1, 2], Andrei V. Smolensky[3], Marina V. Petrova[1, 2], Vladislav E. Zakharchenko[1], Stanislav S. Gorbachev[3], Mikhail Yu. Yuriev[1], Maria A. Zhdanova[1]

[1] Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow, Russia;
[2] Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia;
[3] The Russian University of Sport «GTSOLIFK», Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Mild sports-related traumatic brain injuries are often underestimated due to subtle clinical presentation and athletes' desire to continue training. Repeated traumatic episodes occurring under conditions of physical hyperthermia, reduced cerebral perfusion, and hemodynamic steal phenomena may contribute to occult brain injury. Noninvasive cerebral radiothermometry has been proposed as a rapid method for assessing brain temperature, whereas protein S100β is considered a potential molecular biomarker of mild sports-related traumatic brain injuries. Because brain injury is associated with focal cortical hyperthermia, cranio-cerebral hypothermia may represent a promising approach for correcting cerebral temperature imbalance and preventing secondary complications of traumatic brain injuries.

AIM: To investigate the diagnostic potential of cerebral radiothermometry and salivary S100β biomarker in mild sports-related traumatic brain injury and the effectiveness of therapeutic cranio-cerebral hypothermia in correcting post-traumatic cerebral temperature imbalance.

METHODS: 18 male boxers aged 19–24 years were included. Cortical temperature was measured using radiothermometry in 18 symmetrical regions 30–40 minutes before and 25–30 minutes after sparring. Salivary protein S100β levels were determined by enzyme-linked immunosorbent assay. A subset of athletes underwent a single 60-minute session of cranio-cerebral hypothermia following sparring.

RESULTS: After sparring, mean cortical temperature remarkably increased (from 36.46±0.04°C to 37.23±0.04°C). Maximum temperatures in hyperthermic zones reached 38.1–40.9°C, and temperature heterogeneity (ΔT) increased nearly threefold (from 1.34±0.05°C to 3.97±0.13°C). Salivary S100β concentration showed an upward trend (from 47.53±2.85 to 51.42±3.36 μg/L), particularly when ΔT exceeded 4°C. A single session of cranio-cerebral hypothermia effectively reduced mean cortical temperature to 35.5±0.22°C and decreased ΔT to 0.62±0.02°C.

CONCLUSION: Noninvasive radiothermometry demonstrates high sensitivity to occult temperature disturbances in mild sports-related traumatic brain injury. Elevated S100β levels may reflect the extent of brain injury. Cranio-cerebral hypothermia contributes to normalization of cerebral temperature and may potentially reduce the risk of secondary complications. Larger studies are required to refine radiothermometric diagnostic criteria.

Keywords: mild sports-related traumatic brain injury; cerebral cortex radiothermometry; molecular markers of brain injury; cranio-cerebral hypothermia; brain temperature balance.

To cite this article:
Shevelev OA, Smolensky AV, Petrova MV, Zakharchenko VE, Gorbachev SS, Yuriev MYu, Zhdanova MA. Cerebral Cortex Radiothermometry in the Diagnosis of Mild Sports-Related Traumatic Brain Injury and Correction of Brain Temperature Imbalance Using Cranio-Cerebral Hypothermia. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation.* 2026;8(1):17–25. DOI: 10.36425/rehab701995 EDN: DFCMAS

Submitted: 30.01.2026 **Accepted:** 05.02.2026 **Published online:** 04.03.2026

ECO•VECTOR

The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International license
© Eco-Vector, 2026

ОБОСНОВАНИЕ

Значение лёгких спортивных черепно-мозговых травм (ЧМТ), наиболее часто встречающихся в контактных и игровых видах спорта, весьма часто остаётся недооценённым в связи с определёнными трудностями диагностики [1].

Специфика спортивных ЧМТ, имеющая ряд особенностей и существенно отличающая их от бытовых травм, определяет весьма высокие риски развития осложнений в отдалённом периоде. В первую очередь следует выделить «синдром гемодинамического обкрадывания» мозга, развивающийся при значительных физических нагрузках. Провоцируемая выполнением работы гипервентиляция приводит к снижению парциального давления углекислого газа в крови, что сопровождается уменьшением церебральной перфузии в связи с закономерными реакциями ауторегуляции мозгового кровотока [2]. Кроме того, развивается периферическое перераспределение кровотока в пользу рабочей мускулатуры. Физическая гипертермия инициирует повышение теплоотдачи путём конвекции, излучения и испарения пота, что обеспечивается повышенным кровотоком в покровах тела и снижает объём гемодинамического обеспечения мозга [3]. Повышение температуры тела сопровождается повышением церебральной температуры, которая оказывается в этих случаях на 1,5–2°С выше базальной [4]. Уменьшение церебральной перфузии, оксигенации и развитие церебральной гипертермии, по мнению ряда авторов, лежит в основе центральных механизмов утомления, нарушении скоростных, силовых и координационных функций, что в свою очередь увеличивает вероятность получения спортивных ЧМТ [5]. Повышение температуры головного мозга способно сформировать каскад реакций, свойственных повреждению нейронов при ишемии, гипоксии, реперфузии и нейротравме, даже в тех случаях, когда первичное повреждение мозга отсутствует, а при его наличии способствует усилению развития патологического процесса [6]. В этот период, который можно охарактеризовать как период высокой уязвимости мозга, особое значение приобретают повторные травмы, получаемые в короткие промежутки времени.

Таким образом, специфику спортивных ЧМТ определяют условия, при которых получена травма. Снижение гемодинамического обеспечения мозга, высокая церебральная температура, а также повторные частые ЧМТ, аккумулирующие негативные последствия травм, формируют исходы и последствия травм, которые могут быть весьма драматичными [7, 8]. Своевременная объективная оценка лёгких ЧМТ весьма часто затруднена стёртостью неврологической симптоматики и антиагравационным поведением спортсменов, стремящихся продолжить участие в тренировочных и соревновательных циклах. В качестве перспективного метода предупреждений осложнений спортивных ЧМТ рассматривают краниоцеребральную гипотермию, обладающую значительным нейропротекторным потенциалом и позволяющую нормализовать температурный баланс мозга после получения травмы [9].

Потенциальная опасность развития осложнений даже лёгких ЧМТ в отдалённом периоде подчёркивает необходимость разработки объективных инструментальных методов оценки тяжести травмы непосредственно на месте её получения. Применение компьютерной и магнитно-резонансной томографии в таких случаях оказывается малоинформативным и не может быть выполнено оперативно [10, 11]. В качестве инструмента оперативной диагностики может быть рассмотрена неинвазивная радиотермометрия коры больших полушарий, основанная на регистрации мощности электромагнитного излучения тканей мозга в диапазоне сверхвысоких частот. Мощность излучения пропорциональна температуре, что позволяет расчётным путём определить температуру в градусах Цельсия. Регистрация электромагнитного излучения при помощи радиотермометрии в диапазоне 3–4 ГГц позволяет зарегистрировать температуру на глубине 4–6 см от поверхности кожи, что соответствует уровню коры больших полушарий [12].

Радиотермометрия — безопасный метод, не оказывающий какого-либо патогенного воздействия на пациента. В настоящее время технология ограниченно применяется в исследовательских целях, для диагностики ряда заболеваний, сопровождающихся локальным повышением температуры [13]. При измерениях температуры антенну устанавливают на поверхности кожи головы в выбранной проекции определённой области коры мозга и фиксируют результат. Антенну можно перемещать, что позволяет выявить особенности распределения температуры и составить температурную карту коры. Схематично области регистрации представлены на рис. 1.

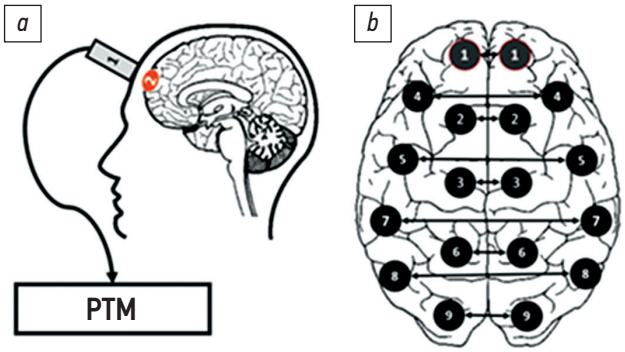

Рис. 1. Схема регистрации температуры коры больших полушарий: *a* — антенна для регистрации электромагнитного излучения (1) установлена в области проекции лобных отделов коры (2); *b* — области регистрации температуры в левом и правом полушариях (стрелками связаны симметричные области). РТМ — радиотермометр.

Fig. 1. Scheme of cerebral cortex temperature recording: *a*, the antenna for electromagnetic radiation detection (1) positioned over the projection of the frontal cortical regions (2); *b*, temperature recording areas in the left and right hemispheres (symmetrical regions are connected by arrows). RTM, radiothermometer.

Для радиотермометрии разработана методика последовательной регистрации температуры в 9 симметричных областях коры больших полушарий слева и справа (18 областей регистрации). Применение неинвазивной радиотермометрии позволило установить, что у здоровых лиц в состоянии покоя температура коры головного мозга неоднородна, имеются области с относительно повышенной (до 36,7–37,4°C) и сниженной (до 35,8–36,3°C) температурой, а усреднённая температура левого и правого полушария не отличается, составляя в среднем 36,4–36,7°C. Максимальная разница между относительно разогретыми и холодными областями (ΔT) не превышает 2,0°C, а их топография варьирует индивидуально и может быть ситуационно обусловлена [14]. В частности, у пациентов с поражением головного мозга в первые сутки развития ишемического инсульта и после тяжёлых ЧМТ вне зависимости от области повреждения усреднённая температура коры правого и левого полушарий повышается до 37,9–39,0°C. Формируется фокальная гипертермия с очагами повышенной до 39–41°C температуры. ΔT между «разогретыми» и относительно «холодными» областями нарастает до 3–4°C, отражая выраженную температурную гетерогенность [15]. Такие же закономерности были выявлены в пилотном исследовании у спортсменов-боксёров [16]. После спаррингов, в которых были зарегистрированы пропущенные удары в голову, температура коры мозга повышалась, а ΔT достигала 3–4°C, при этом неврологические признаки ЧМТ в большинстве случаев были невыраженными или вовсе не проявлялись, а спортсмены не предъявляли жалоб. При проведении радиотермометрии через 2–3 часа после спаррингов фокальная гипертермия нивелировалась, а температура коры мозга понижалась до значений, характерных для здоровых лиц.

Зафиксированные удары в голову и развитие фокальной гипертермии могут рассматриваться в качестве критериев полученных ЧМТ лишь предположительно и без оценки тяжести травмы. Для подтверждения диагностической значимости этих данных необходимо ориентироваться на дополнительные диагностические критерии, в качестве которых могут выступать молекулярные маркеры повреждения головного мозга, определяемые в крови или слюне [17, 18]. В качестве наиболее информативных маркеров ЧМТ рассматривают белки GFAP (Glial Fibrillary Acid Protein), S100β, NSE (Neuron-Specific Enolase), NfL (Neurofilament Light), UCH-L1 (Ubiquitin Carboxy-Terminal Hydrolase L1) и ряд других [19]. Глиальный белок S100β, концентрация которого наиболее быстро нарастает в крови, преодолевая гематоэнцефалический барьер, появляется в слюне и моче [20]. Средний уровень S100β в слюне оказывается выше, чем в крови, и положительно коррелирует с содержанием в крови, а определение уровня S100β в слюне оказывается столь же эффективно в дифференциации пациентов с ЧМТ.

Цель исследования — оценка диагностической ценности неинвазивной радиотермометрии коры больших полушарий головного мозга в комплексе с определением молекулярного маркера повреждения нервной ткани (белка S100β в слюне) для выявления лёгких спортивных черепно-мозговых травм; изучение терапевтической эффективности краниоцеребральной гипотермии для коррекции выявленных посттравматических нарушений температурного баланса головного мозга.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Исследование пилотное, нерандомизированное, открытое, выборка осуществлялась случайным образом после получения информированного согласия спортсмена на участие в исследовании.

Условия проведения исследования

Исследование проведено на базе ФГБОУ ВО «Российский университет спорта ГЦОЛИФК».

Критерии соответствия (отбора)

Критерии включения: спортсмены-боксёры, допущенные к тренировкам и соревнованиям.

Критерии невключения: наличие заболевания; недопуск к тренировкам.

Критерии исключения: не запланированы.

Описание вмешательства

В исследование включены 18 спортсменов-боксёров, занимающихся спортом на протяжении 5–7 лет (I разряд — мастера спорта), в возрасте 19–24 лет, не предъявляющих жалоб и давших информированное согласие на участие в исследовании.

Результаты измерений температуры коры больших полушарий фиксировали за 30–40 минут до спарринга и через 25–30 минут после спарринга (три раунда по 3 минуты). Определяли средние значения температуры коры больших полушарий по данным измерения в девяти симметричных областях левого и правого полушария, а также минимальные и максимальные показатели температуры; рассчитывали ΔT между относительно «разогретыми» и «холодными» областями (см. рис. 1). Программное обеспечение радиотермометра позволяет построить температурные карты коры больших полушарий, отражающие распределение температуры. Во время спарринга фиксировали число пропущенных ударов в голову.

Через 35–40 минут после спарринга собирали слюну. Для этого сублингвально слева и справа помещали ватные шарики, которые пропитывались слюной в течение 10–15 минут. Далее шарики помещали в одноразовые шприцы, и слюну выжимали в пробирки для последующего исследования. Слюну замораживали и хранили при температуре -70°C. Процедуру краниоцеребральной гипотермии проводили через 20–25 минут после спарринга; длительность охлаждения составляла 60 минут, температура кожи краниоцеребральной области головы — 5±2°C.

Исходы исследования

Методы регистрации исходов. Измерения температуры коры больших полушарий проводили при помощи радиотермометра «РТМ-01-РЭС» (пр-во ООО «РЭС», Россия, РУ ФСР 2007/01307 от 2007).

Содержание белка S100β в слюне определяли методом иммуноферментного анализа с использованием реактивов «Набор для определения S100β методом иммуноферментного анализа (человек)», ELISA Kit for S100 Calcium Binding Protein B (S100β) производства Cloud-Clone (Китай). Результаты исследований определяли на планшетном фотометре Multiskan FC (Thermo Scientific, США).

Для проведения краниоцеребральной гипотермии использовали отечественный аппарат терапевтической гипотермии «АТГ-01» (Концерн Калашников, РУ № ФСР 2011/11788 от 2017).

Статистические процедуры

Статистические методы. Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета прикладных программ STATISTICA версия 6 (StatSoft, США). Значимыми принимались значения при p <0,05. В связи с небольшой выборкой использовали описательную статистику.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Основные результаты исследования

До спарринга средняя температура коры мозга составляла 36,46±0,04°С [36,2; 36,8], в относительно «холодных» областях (минимум) — 35,81±0,04°С [35,4; 36,2], в относительно «разогретых» (максимум) — 37,15±0,05°С [37,5; 36,8], ΔТ 1,34±0,05°С [1,0; 1,6]. После спарринга средняя температура коры мозга составила 37,23±0,04°С [36,9; 37,7], в относительно «холодных» областях (минимум) — 35,17±0,06°С [34,6; 35,7], в относительно «разогретых» (максимум) — 39,14±0,14°С [38,4–40,9], ΔТ 3,97±0,13°С [3,1; 4,6] (табл. 1).

У всех спортсменов зарегистрированы от 3 до 9 пропущенных ударов в голову. После спарринга каких-либо жалоб спортсмены не предъявляли, неврологических признаков ЧМТ не выявлено.

Средняя температура коры мозга после спарринга статистически значимо превышала данные, зарегистрированные

Таблица 1. Средние, минимальные, максимальные значения температуры и ΔТ между относительно «холодными» и «разогретыми» областями коры мозга до и после спарринга, Т°С

Table 1. Mean, minimum, and maximum temperature values and ΔT between relatively cold and heated cortical regions before and after sparring, (°C)

Спортсмен	До спарринга				После спарринга			
	Ср.	Мин.	Макс.	ΔТ	Ср.	Мин.	Макс.	ΔТ
1	36,4	36,0	37,2	1,2	37,4	35,6	40,1	4,5
2	36,2	35,8	36,9	1,1	37,3	35,4	40,0	4,6
3	36,8	35,7	37,3	1,6	37,3	35,4	38,6	3,2
4	36,7	35,7	36,8	1,1	37,3	34,9	38,9	4,0
5	36,9	36,2	37,4	1,2	37,1	35,2	38,7	3,5
6	36,3	35,7	36,9	1,2	37,3	35,5	39,2	3,7
7	36,4	35,5	37,3	1,3	37,1	35,0	39,3	4,3
8	36,2	35,6	36,9	1,4	37,1	35,3	38,4	3,1
9	36,7	35,7	37,2	1,5	37,0	35,4	38,6	3,2
10	36,5	35,9	37,4	1,5	37,0	34,9	40,2	5,3
11	36,5	35,7	37,2	1,5	37,7	35,7	39,2	3,5
12	36,6	35,7	36,8	1,1	37,4	35,3	40,9	5,6
13	36,4	35,4	37,6	2,2	37,6	35,3	39,7	4,4
14	36,3	35,8	36,9	1,1	37,3	35,3	38,5	3,2
15	36,4	35,7	37,4	1,6	37,2	35,0	39,4	4,4
16	36,2	36,1	37,1	1,0	37,2	34,5	38,4	3,9
17	36,4	36,2	37,5	1,3	37,0	34,8	38,4	3,6
18	36,3	35,7	36,9	1,2	36,9	34,6	38,1	3,5
M±m	36,46±0,04	35,81±0,04	37,15±0,05	1,34±0,05	37,23±0,04*	35,17±0,06	39,14±0,14*	3,97±0,13*

Примечание. Отличия до и после спарринга: p <0,05 (*).

до поединка. Минимальные значения температуры в относительно «холодных» областях коры до и после спарринга были близки, но температура в относительно «разогретых» областях существенно повысилась. Важно отметить статистически значимый рост разницы температуры между относительно «холодными» и «разогретыми областями коры мозга, причём у 4 спортсменов после поединка ΔT превысила 4°C. Примеры температурных карт коры больших полушарий приведены на рис. 2, где видно развитие гипертермии коры мозга и формирование областей повышенной температуры.

Концентрация белка S100β в слюне до спарринга составляла 47,53±2,85 мкг/л [23,27; 46,31], после спарринга — 51,42±3,36 мкг/л [29,64; 59,97] (p >0,05). У 4 спортсменов ΔT достигла максимальных значений (4,6–5,6°C), а концентрация белка S100β в слюне составила в среднем 58,67 мкг/л [57,34; 59,99]. На температурных картах (см. рис. 2, 3) видны очаги гипертермии (красный цвет)

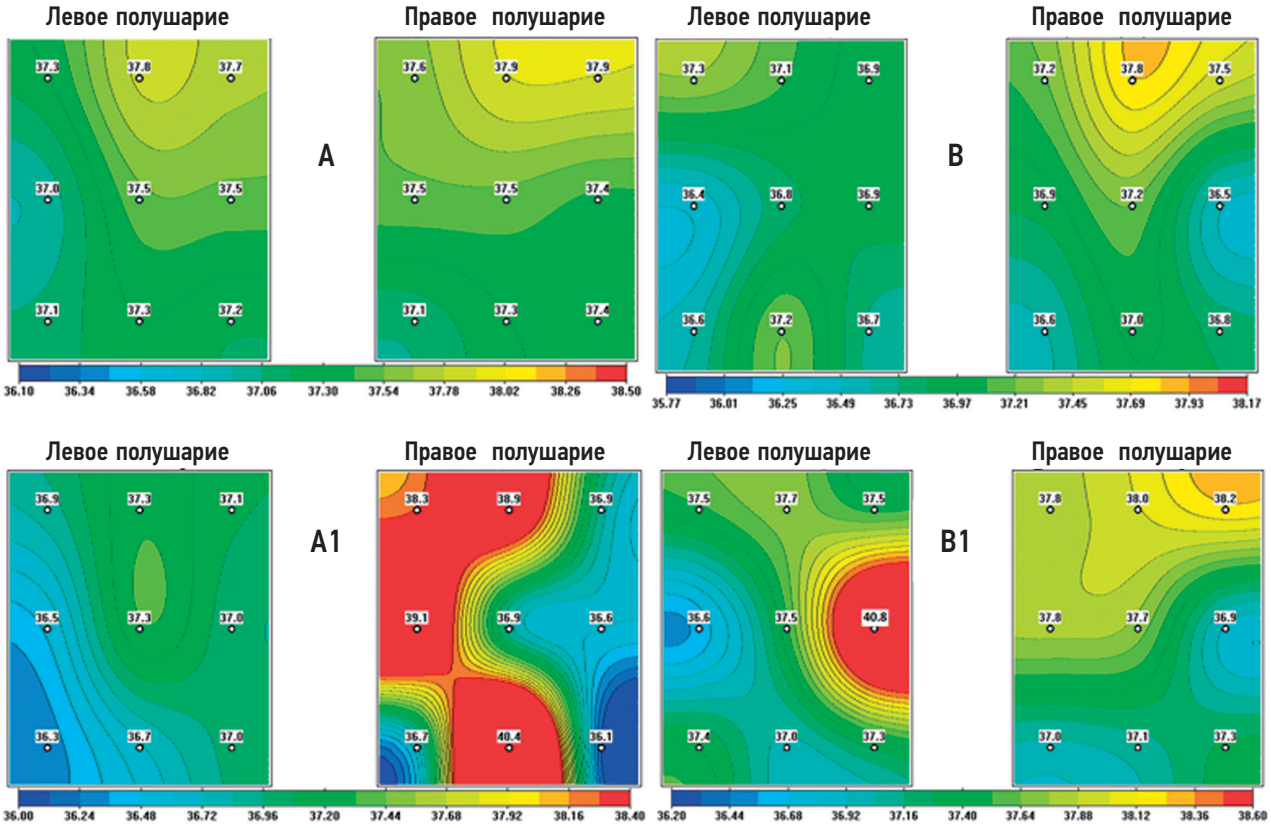

Рис. 2. Температурные карты коры мозга левого и правого полушарий спортсменов до спарринга (A и B) и после спарринга (A1 и B1).

Fig. 2. Temperature maps of the cerebral cortex of the left and right hemispheres of athletes before sparring (A and B) and after sparring (A1 and B1).

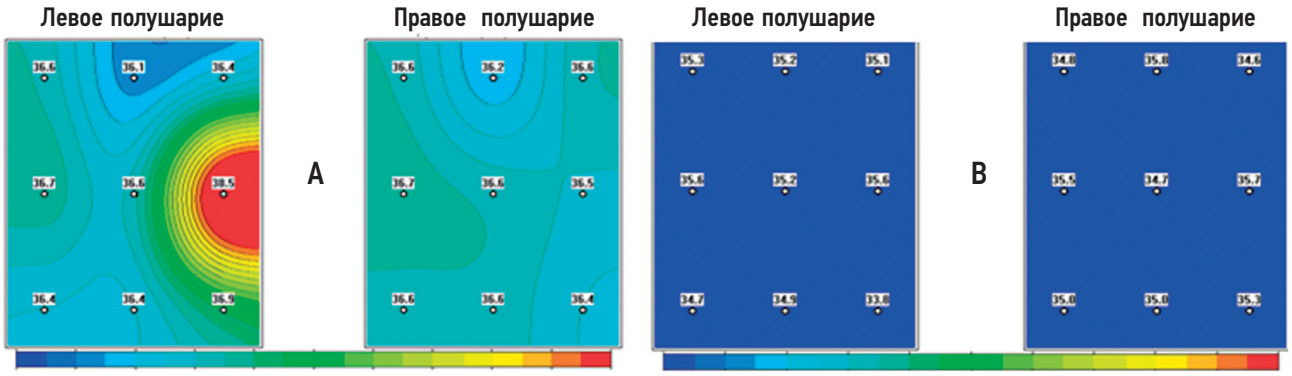

Рис. 3. Температурные карты коры мозга левого и правого полушарий спортсмена после спарринга (A) и после однократного сеанса краниоцеребральной гипотермии (B).

Fig. 3. Temperature maps of the cerebral cortex of the left and right hemispheres of an athlete after sparring (A) and after a single session of cranio-cerebral hypothermia (B).

DOI: https://doi.org/10.36425/rehab701995

и области более низкой температуры (жёлтый и синий цвет). Под каждой картой размещена диаграмма распределения цветов в зависимости от температуры.

Проведение однократного сеанса краниоцеребральной гипотермии длительностью 60 минут демонстрировало подавление очаговой гипертермии, нивелирование температурной гетерогенности и понижение температуры коры больших полушарий (см. рис. 3). Усреднённая температура коры мозга после спарринга составила 37,23±0,04°C [36,9; 37,7], в областях гипертермии — 39,14±0,14°C при ΔT 3,97±0,13°C. После сеанса краниоцеребральной гипотермии усреднённая температура достигла 35,5±0,22°C [34,3; 36,1] при ΔT 0,62±0,02°C, демонстрируя статистически значимое понижение.

Нежелательные явления

В процессе исследования какие-либо нежелательные явления при использовании гипотермии и радиотермометрии не выявлены.

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме результатов исследования

В нашем исследовании подтверждено ранее отмеченное явление нарастания церебральной температуры после физических нагрузок.

Интерпретация результатов исследования

При контактных поединках наблюдается усиление температурной гетерогенности коры больших полушарий, проявляющееся нарастанием разницы температуры между относительно «холодными» и «разогретыми» областями (ΔT). Повышение температуры мозга, связанное с физическими нагрузками, закономерно отражает общее увеличение теплопродукции и развитие физической гипертермии, при этом число травмоопасных эпизодов лишь косвенно свидетельствует о возможном травмирующем воздействии и не может рассматриваться в качестве критерия оценки тяжести полученной ЧМТ, тогда как формирование очаговой церебральной гипертермии правомочно связать с эпизодами пропущенных ударов в голову и столкновениями. Данное предположение подтверждается тем, что нарастание температурной гетерогенности является важным прогностическим критерием течения тяжёлых поражений головного мозга при инсультах и нейротравмах, однако определение того, в какой степени уровень температурной гетерогенности при спортивных лёгких ЧМТ свидетельствует о травме, которой следует придавать клиническое значение, несмотря на отсутствие соответствующих неврологических симптомов и жалоб, требует дополнительных исследований.

Даже однократные травмоопасные эпизоды сопровождаются увеличением ΔT коры больших полушарий, что свидетельствует о высокой чувствительности и специфичности радиотермометрии коры мозга при лёгких ЧМТ. В определённой степени это подтверждает обнаруженная тенденция увеличения белка S100β в слюне после спаррингов спортсменов-боксёров. Данный подход в диагностике ЧМТ может быть продуктивным, но требует дальнейшей проработки методики в части определения периодов взятия материала, поскольку выход в кровь белка S100β, и тем более появление его в слюне, а также накопление данного маркера до максимальных концентраций требует времени. Кроме того, правомочно высказать предположение, что высокий уровень температурной гетерогенности, при котором ΔT оказывается выше 4°C, может свидетельствовать о клинически значимой травме мозга.

Важно также подчеркнуть, что применение краниоцеребральной гипотермии после травмоопасных эпизодов может явиться потенциально перспективным подходом в профилактике развития осложнений спортивных ЧМТ.

Ограничения исследования

Разумеется, данное исследование имеет пилотный характер и требует проведения более масштабных исследований как в части увеличения выборки наблюдений, так и возможном расширении числа определяемых молекулярных маркеров травмы головного мозга не только в слюне, но и сыворотке крови.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема экспресс-диагностики лёгких ЧМТ в спорте, особенно в единоборствах, хоккее, регби и футболе, является одной из весьма значимых для спортивной медицины в связи с разнообразными негативными последствиями, усугубляемыми антиаггравационным поведением спортсменов, повторяющимся травматизмом и церебральной гипертермией. Материал, приведённый в работе, позволяет оптимистично оценить диагностические возможности радиотермометрии у спортсменов, получивших лёгкие ЧМТ во время тренировок или состязаний. Специфичность и чувствительность технологии радиотермометрии при травмах мозга следует подтвердить дополнительными исследованиями молекулярных маркеров повреждения головного мозга, в частности определением белка S100β в слюне и сыворотке крови. Выдвигая в качестве одного из ведущих проявлений ЧМТ фокальную гипертермию головного мозга, а также опираясь на опыт, полученный у тяжёлых пациентов в острейшем периоде ишемического инсульта и бытовой ЧМТ, в качестве одной из профилактических и реабилитационных мер представляется использование селективной гипотермии коры больших полушарий в варианте краниоцеребральной гипотермии.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. О.А. Шевелев — концепция дизайна исследования, написание статьи; А.В. Смоленский — анализ данных, участие в редактировании текста рукописи; М.В. Петрова — кураторство работы,

рецензирование и одобрение статьи для публикации; В.Е. Захарченко — проведение лабораторных исследований; С.С. Горбачев — статистическая обработка результатов; М.Ю. Юрьев, М.А. Жданова — диагностика, сбор, обработка данных радиотермометрии. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБНУ «Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии» (протокол № 3/19/1 от 18.09.2019). Все участники исследования подписали форму информированного добровольно согласия до включения в исследование.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При проведении исследования и создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе неприменима.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: O.A. Shevelev, research design concept, writing the article; A.V. Smolensky, data analysis, participation in editing the text of the manuscript; M.V. Petrova, curating the work, reviewing and approving the article for publication; V.E. Zakharchenko, conducting laboratory tests; S.S. Gorbachev, statistical processing of results; M.Yu. Yuriev, M.A. Zhdanova, diagnostics, collection, and processing of radiothermometry data. Thereby, all authors provided approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: Conclusion of the Ethics Committee of the Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology (protocol No. № 3/19/1, date 2019 Sept 18).

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities or interests for the last three years related with for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: When conducting the research and creating this work, the authors did not use previously published information (text, illustrations, data).

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing is not applicable to this work. Access to the data is closed by the decision of the author in order to protect copyrights until the final results are gained.

Generative AI: Generative AI technologies were not used for this article creation.

Provenance and peer-review: This paper was submitted to the journal on an initiative basis and reviewed according to the usual procedure.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Theadom A, Mahon S, Hume P, et al. Incidence of sportsrelated traumatic brain injury of all severities: a systematic review. *Neuroepidemiology.* 2020;54(2):192–199. doi: 10.1159/000505424 EDN: BMWYHY

2. Antonov VI, Semenyutin VB, Aliev VA. Studies in the autoregulation of human cerebral circulation: models and methods. *St. Petersburg state polytechnical university journal. Physics and mathematics.* 2020;13(3):136–155. doi: 10.18721/JPM.13311 EDN: PCJJMG

3. Querido JS, Sheel AW. Regulation of cerebral blood flow during exercise. *Sports Med.* 2007;37(9):765–782. doi: 10.2165/00007256-200737090-00002 EDN: JZXKFT

4. Nybo L. Brain temperature and exercise performance. *Exp Physiol.* 2012;97(3):333–339. doi: 10.1113/expphysiol.2011.062273

5. Nybo L, Nielsen B. Middle cerebral artery blood velocity is reduced with hyperthermia during prolonged exercise in humans. *Physiol.* 2001;534(1):279–286. doi: 10.1111/j.1469-7793.2001.t01-1-00279.x

6. Campos F, Pérez-Mato M, Agulla J, et al. Glutamate excitoxicity is the key molecular mechanism which is influenced by body temperature during the acute phase of brain stroke. *PLoS One.* 2012;7(8):e44191. doi: 10.1371/journal.pone.0044191

7. Omalu B, Bailes J, Hamilton RL, et al. Emerging histomorphologic phenotypes of chronic traumatic encephalopathy in American Athletes. *Neurosurgery.* 2011;69:173–183. doi: 10.1227/NEU.0b013e318212bc7b

8. Katz DI, Bernick C, Dodick DW, et al. National institute of neurological disorders and stroke consensus diagnostic criteria for traumatic encephalopathy syndrome. *Neurology.* 2021;96(18):848–863. doi: 10.1212/WNL.0000000000011850 EDN: PNLBRJ

9. Shevelev OA, Smolensky AV, Petrova MV, et al. Mechanisms of low-temperature rehabilitation technologies. sports traumatic brain injury. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation.* 2022;4(1):4–13. doi: 10.36425/rehab88833 EDN: LLATTM

10. Wu X, Kirov II, Gonen O, et al. MR imaging applications in mild traumatic brain injury: an imaging update. *Radiology.* 2016;279(3):693–707. doi: 10.1148/radiol.16142535

11. Suri AK, Lipton ML. Neuroimaging of brain trauma in sports. *Handb Clin Neurol.* 2018;158:205–216. doi: 10.1016/B978-0-444-63954-7.00021-5

12. Shevelev OA, Butrov AV, Cheboksary DV, et al. The pathogenetic role of cerebral hyperthermia in brain lesion. *Clinical Medicine (Russian Journal).* 2017;95(4):302–309. doi: 10.18821/0023-2149-2017-95-4-302-309 EDN: YPIAWZ

13. Shevelev OA, Petrova MV, Yuriev MYu, et al. Microwave radiothermometry in evaluating brain temperature changes (review). *General Reanimatology.* 2023;19(1):50–59. doi: 10.15360/1813-9779-2023-1-2129 EDN: CSPOOF

14. Shevelev OA, Petrova MV, Mengistu EM, et al. Correction of local brain temperature after severe brain injury using hypothermia and medical microwave radiometry (MWR) as companion diagnostics. *Diagnostics.* 2023;13(6):1159. doi: 10.3390/diagnostics13061159 EDN: LUWEET

15. Goryanin I, Karbainov S, Shevelev O, et al. Passive microwave radiometry in biomedical studies. *Drug Discovery Today.* 2020;25(4):757–763. doi: 10.1016/j.drudis.2020.01.016 EDN: XWHQAS

16. Shevelev OA, Smolensky AV, Miroshnikov AB, et al. Temperature balance of the cerebral cortex in athletes boxers during training and competitions. *Sport and pedagogical education.* 2020;(4):59–66. EDN: SLHPPO

17. Cherepanova AV, Bravy YR, Karabelsky AV, et al. Molecular genetic markers of neuroglia in traumatic brain injury and their use for the functional assessment of sportsmen. *J Evol Biochem Phys.* 2024;60(4):1490–1503. doi: 10.1134/S0022093024040185 EDN: MMBWCT

18. Mavroudis I, Petridis F, Balmus IM, et al. Review on the role of salivary biomarkers in the diagnosis of mild traumatic brain injury and post-concussion syndrome. Diagnostics. 2023;13(8):1367. doi: 10.3390/diagnostics13081367 EDN: NFUCDJ

19. Janigro D, Bailey DM, Lehmann S, et al. Peripheral blood and salivary biomarkers of blood-brain barrier permeability and neuronal damage: clinical and applied concepts. *Front Neurol.* 2021;11:577312. doi: 10.3389/fneur.2020.577312 EDN: NXAGOK

20. Janigro D, Kawata K, Silverman E, et al. Is salivary S100B a biomarker of traumatic brain injury? A pilot study. *Front Neurol.* 2020;11:528. doi: 10.3389/fneur.2020.00528 EDN: UGOKPU

ОБ АВТОРАХ

*** Шевелев Олег Алексеевич,** д-р мед. наук, профессор;
адрес: Россия, 107031, Москва, ул. Петровка, д. 25, стр. 2;
ORCID: 0000-0002-6204-1110;
eLibrary SPIN: 9845-2960;
e-mail: shevelev_o@mail.ru

Смоленский Андрей Вадимович, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0001-5663-9936;
eLibrary SPIN: 4514-3020;
e-mail: smolensky52@mail.ru

Петрова Марина Владимировна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0003-4272-0957;
eLibrary SPIN: 9132-4190;
e-mail: mpetrova@fnkcrr.ru

Захарченко Владислав Евгеньевич;
ORCID: 0000-0003-4873-8007;
eLibrary SPIN: 1481-5666;
e-mail: vzakharchenko@fnkcrr.ru

Горбачев Станислав Сергеевич, канд. пед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0003-2226-451X;
eLibrary SPIN: 4129-3885;
e-mail: 8000462@gmail.com

Юрьев Михаил Юрьевич, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0003-0284-8913;
eLibrary SPIN: 9437-0360;
e-mail: myurev@fnkcrr.ru

Жданова Мария Александровна;
ORCID: 0000-0001-6550-4777;
eLibrary SPIN: 4406-7802;
e-mail: mchubarova@fnkcrr.ru

AUTHORS' INFO

*** Oleg A. Shevelev,** MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
address: 25 Petrovka st, bldg 2, Moscow, Russia,107031;
ORCID: 0000-0002-6204-1110;
eLibrary SPIN: 9845-2960;
e-mail: shevelev_o@mail.ru

Andrei V. Smolensky, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0001-5663-9936;
eLibrary SPIN: 4514-3020;
e-mail: smolensky52@mail.ru

Marina V. Petrova, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0003-4272-0957;
eLibrary SPIN: 9132-4190;
e-mail: mpetrova@fnkcrr.ru

Vladislav E. Zakharchenko;
ORCID: 0000-0003-4873-8007;
eLibrary SPIN: 1481-5666;
e-mail: vzakharchenko@fnkcrr.ru

Stanislav S. Gorbachev, Cand. Sci. (Education), Professor;
ORCID: 0000-0003-2226-451X;
eLibrary SPIN: 4129-3885;
e-mail: 8000462@gmail.com

Mikhail Yu. Yuriev, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0003-0284-8913;
eLibrary SPIN: 9437-0360;
e-mail: myurev@fnkcrr.ru

Maria A. Zhdanova;
ORCID: 0000-0001-6550-4777;
eLibrary SPIN: 4406-7802;
e-mail: mchubarova@fnkcrr.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author