

УДК 616.1

<https://doi.org/10.24884/1682-6655-2026-25-1-45-51>

Н. Р. МУХАМАДЕЕВА^{1, 2}, О. В. КАЧЕМАЕВА^{1, 2},
И. В. БУЗАЕВ^{1, 2}, Р. М. ГАЛИМОВА^{1, 2}, И. А. ЛАКМАН³,
З. Р. НАБИЕВА³, Г. М. САХАУТДИНОВА¹,
А. В. САМОРОДОВ¹, Н. Ш. ЗАГИДУЛЛИН¹

Ангио- и нейропротективный эффект дистантного ишемического preconditionирования при лечении фокусированным ультразвуком под контролем магнитно-резонансной томографии

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России
450008, Россия, г. Уфа, ул. Ленина, д. 3

² Общество с ограниченной ответственностью «Клиника интеллектуальной нейрохирургии»,
Международный медицинский центр имени В. С. Бузаева
450059, Россия, г. Уфа, ул. Рихарда Зорге, д. 17/4

³ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий»
450076, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди, д. 3
E-mail: ishtu2013@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 20.10.2025 г.; принята к печати 16.01.2026 г.

Резюме

Введение. Дистантное ишемическое preconditionирование (ИП) является перспективным инструментом защиты органов и тканей от повреждений. **Целью** данного исследования стало исследование диагностической эффективности ангионейропротективных биомаркеров у пациентов с экстрапирамидными двигательными расстройствами при проведении термоабляции фокусированным ультразвуком под контролем магнитно-резонансной томографии (МР-ФУЗ). **Материалы и методы.** В проспективное рандомизированное слепое исследование с активным контролем (имитация ИП, иИП) было включено 42 пациента. Пациенты до операции были рандомизированы в группу ИП (давление в манжете равно систолическому давлению + 50 мм рт. ст., n=21) и имитации ИП (давление в манжете равно диастолическому давлению, n=21), ИП/иИП проводились в три цикла по 5 мин воздействия с пятиминутным отдыхом между циклами. Уровни биомаркеров (TRIM72, S100B, убиквитин, Lp-PLA2, эндотелина-1) измеряли в сыворотке крови до и через 1 час после МР-ФУЗ. **Результаты.** При сравнении показателей после МР-ФУЗ выявлены статистически значимые межгрупповые различия: в группе имитации ИП уровень S100B (1,34 нг/мл) был выше, чем в группе ИП (0,44 нг/мл) (p<0,001), а уровень убиквитина (5,8 нг/мл) также превышал показатель группы ИП (4,73 нг/мл) (p=0,008). Полученные данные свидетельствуют о том, что предшествующее ИП ассоциировано с подавлением выброса биомаркеров нейроглиального повреждения (S100B) и протеолитического стресса (убиквитин) в ответ на термоабляцию. **Вывод.** ИП ассоциировано со снижением уровней S100B и убиквитина при проведении МР-ФУЗ-термоабляции и демонстрирует цитопротективное влияние, уменьшая повреждение гематоэнцефалического барьера и нейронов.

Ключевые слова: ишемическое preconditionирование, МР-ФУЗ, экстрапирамидные двигательные расстройства, биомаркеры, S100B, убиквитин

Для цитирования: Мухамадеева Н. Р., Качемаева О. В., Бузаев И. В., Галимова Р. М., Лакман И. А., Набиева З. Р., Сахавутдинова Г. М., Самородов А. В., Загидуллин Н. Ш. Ангио- и нейропротективный эффект дистантного ишемического preconditionирования при лечении фокусированным ультразвуком под контролем магнитно-резонансной томографии. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2026;25(1):45–51. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2026-25-1-45-51>.

Nailya R. MUKHAMADEEVA^{1, 2}, Olga V. KACHEMAEVA^{1, 2},
 Igor V. BUZAEV^{1, 2}, Rezida M. GALIMOVA^{1, 2},
 Irina A. LAKMAN³, Zarina R. NABIEVA³,
 Gulnar M. SAKHAUTDINOVA¹,
 Alexander V. SAMORODOV¹, Naufal Sh. ZAGIDULLIN¹

Angio- and Neuroprotective Effect of Remote Ischemic Preconditioning in Treatment with Focused Ultrasound under Magnetic Resonance Imaging Guidance

¹ Bashkir State Medical University

3, Lenina str., Ufa, Russia, 450008

² Intelligent Neurosurgery Clinic, International Medical Center V. S. Buzaev Memorial

7/4, Richarda Sorge str., Ufa, Russia, 450059

³ Ufa University of Science and Technology

32, Zaki Validi str., Russia, Ufa, 450076

E-mail: ishtu2013@yandex.ru

Received 20.10.25; accepted 16.01.26

Summary

Introduction. Remote ischemic preconditioning (RIPC) is a promising intervention for protecting organs and tissues from damage. *The aim* of this study was to evaluate the diagnostic efficacy of angioneuroprotective biomarkers in patients with extrapyramidal movement disorders undergoing magnetic resonance-guided focused ultrasound (MRgFUS) thermocoagulation. **Materials and Methods.** 42 patients were enrolled in a prospective, randomized, blinded study with an active control (sham RIPC). Prior to the procedure, patients were randomized into either the RIPC group (cuff pressure set at systolic blood pressure + 50 mm Hg, n=21) or the sham RIPC group (cuff pressure set at diastolic blood pressure, n=21). The protocol in both groups consisted of three 5-minute cycles of the cuff inflation (preconditioning or its imitation) each followed by a 5-minute rest intervals. Levels of biomarkers (TRIM72, S100B, ubiquitin, Lp-PLA2, endothelin-1) were measured in blood serum before and 1 hour after MRgFUS procedure. **Results.** Comparison of post-procedural biomarker levels revealed statistically significant differences: the S100B levels were higher in the sham RIPC group (1.34 ng/mL) compared to the RIPC group (0.44 ng/mL, $p < 0.001$) and the ubiquitin level (5.8 ng/mL) were also higher than in the RIPC group (4.73 ng/mL) ($p = 0.008$). These findings indicate that prior RIPC is associated with suppression of biomarkers of neuroglial damage (S100B) and proteolytic stress (ubiquitin) released in response to thermocoagulation. **Conclusion.** RIPC is associated with reduced levels of S100B and ubiquitin during MRgFUS thermocoagulation, demonstrating a cytoprotective effect by mitigating blood-brain barrier and neuronal damage.

Keywords: ischemic preconditioning, MRgFUS, extrapyramidal movement disorders, biomarkers, S100B, ubiquitin

For citation: Mukhamadeeva N. R., Kachemaeva O. V., Buzaev I. V., Galimova R. M., Lakman I. A., Nabieva Z. R., Sakhautdinova G. M., Samorodov A. V., Zagidullin N. S. Angio- and Neuroprotective Effect of Remote Ischemic Preconditioning in Treatment with Focused Ultrasound under Magnetic Resonance Imaging Guidance. *Regional Hemodynamics and Microcirculation*. 2026;25(1):45–51. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2026-25-1-45-51>.

Введение

Фокусированный ультразвук под контролем магнитно-резонансной томографии (МР-ФУЗ) – неинвазивный метод, интегрирующий высокоинтенсивный фокусированный ультразвук, магнитно-резонансную томографию (МРТ) для визуализации мишени и интраоперационного наведения с функцией термометрии в режиме реального времени [1]. МР-ФУЗ используется для лечения пациентов с онкологическими и неврологическими заболеваниями, а также с патологиями костно-мышечной системы. В отличие от традиционных хирургических вмешательств, МР-ФУЗ позволяет достигать сопоставимых терапевтических результатов при минимальном повреждении тканей. Несмотря на неинвазивный характер, термоабляция под контролем МРТ сопряжена с потенциальным риском повреждения прилежащих церебральных структур, что клинически может проявляться развитием перифокального отека, транзиторного неврологического дефицита (например, усилением имеющихся или появлением новых

двигательных/речевых нарушений) и увеличением продолжительности послеоперационной реабилитации [2]. Актуальным представляется поиск методов, позволяющих минимизировать перифокальное повреждение при сохранении терапевтической эффективности основного вмешательства.

Дистантное ишемическое прекодиционирование (ИП) основано на индукции кратковременных эпизодов ишемии и реперфузии в удаленном участке тела (как правило, путем попеременного наложения и декомпрессии манжеты тонометра на конечность), что способно повышать устойчивость органов и тканей к повреждению [3]. В многоцентровом рандомизированном контролируемом исследовании S. Zhu et al. (2022) [4] продемонстрирована клиническая эффективность дистантного ИП на предплечье, проводимого по протоколу трех пятиминутных циклов ишемии/реперфузии, в отношении снижения сывороточных уровней биомаркеров повреждения церебральной ткани в сравнении с группой контроля.

TRIM72 представляет собой белок репарации клеточных мембран [5]. S100B локализуется в цитоплазме и ядре различных клеток, происходящих из нервного гребня [6]. Убиквитин (Ub) представляет собой регуляторный белок, который является ключевым компонентом убиквитин-протеасомной системы (UPS). UPS обеспечивает деградацию поврежденных белков при ишемии [7]. Липопротеин-ассоциированная фосфолипаза A₂ (LpPLA₂) представляет собой специфический биомаркер сосудистого воспаления [8]. Эндотелин-1 (ЕТ-1) – мощный вазоконстрикторный пептид, вырабатываемый эндотелием и участвующий в регуляции сосудистого тонуса и пролиферации клеток [9].

В настоящее время отсутствуют научные данные о влиянии МР-ФУЗ на биомаркеры крови и протективный эффект ИП в отношении термоабляции.

Цель работы – исследование протективного потенциала ангио- и нейропротективных биомаркеров при лечении МР-ФУЗ пациентов с экстрапирамидными двигательными расстройствами.

Материалы и методы исследования

В исследование включены 42 пациента с экстрапирамидными двигательными заболеваниями – болезнью Паркинсона (БП), эссенциальным тремором (ЭТ), направленные на лечение МР-ФУЗ в Международный медицинский центр им. В. С. Бузаева, Уфа (рис. 1).

После клинического обследования пациенты были рандомизированы на группы ИП и иИП. За 60 минут до МР-ФУЗ им накладывали манжету тонометра на правое предплечье, после чего проводили циклические эпизоды ишемии (5 мин) и реперфузии (5 мин). Уровень давления в манжете при ИП превышал индивидуальное систолическое артериальное давление (АД) пациента на 50 мм рт. ст., тогда как в группе иИП давление поддерживалось на уровне диастолического АД.

Критерии включения пациентов в исследование:

1. Общие требования:

- возраст пациентов от 18 лет и старше;
- письменное информированное согласие, подтверждающее добровольное участие после ознакомления с протоколом исследования;
- подтвержденный диагноз артериальной гипертензии;
- подтвержденный диагноз соответствующего неврологического расстройства (БП, ЭТ).

2. Специфические критерии по нозологиям:

2.1. БП:

- стадия заболевания 2 и выше по шкале Хён-Яра;
- отсутствие клинического ответа на терапию леводопой (дозы свыше 500 мг/сут);
- наличие лекарственных дискинезий при акинетико-ригидной форме.

2.2. ЭТ:

- неэффективность стандартной фармакотерапии (пропранолол, топирамат) продолжительностью ≥ 3 месяцев.

Критерии не включения:

- наличие тяжелых сопутствующих соматических заболеваний, включая травмы и острые состояния;

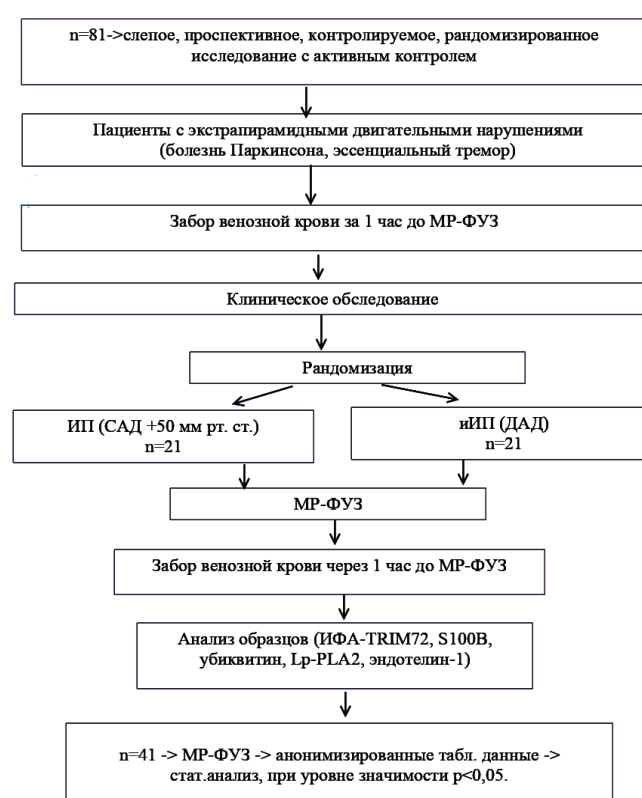


Рис. 1. Дизайн исследования

Fig. 1. Study design

- противопоказания к проведению магнитно-резонансной томографии;
- наличие металлических имплантированных устройств, не совместимых с МРТ, в том числе электрокардиостимуляторов;
- клаустрофобия;
- алкогольная или наркотическая зависимость;
- показатель коэффициента плотности костной ткани черепа, не превышающий 0,35 ($\pm 0,05$) по данным КТ;
- беременность.

После клинического обследования пациенты методом запечатанных конвертов были рандомизированы на группу ИП и группу иИП. За 1 час до лечения всем пациентам забирали кровь в вакуумные пробирки. Терапия МР-ФУЗ выполнялась на аппарате «ExAblate 4000» («Insightec», версия ПО 7.0.404), интегрированном с магнитно-резонансным томографом «GE Optima» (MR450W, 1,5 Тл). Исследование было слепым для пациента и медицинского персонала, осуществлявшего забор крови и анализ биомаркеров. Процедура ИП или имитации ИП проводилась отдельным сотрудником, не участвующим в дальнейшей оценке результатов.

В течение 1 часа после лечения производили повторный забор крови. Концентрацию биомаркеров LpPLA₂, S100B, TRIM72, эндотелина-1 (ELK Biotechnology CO., Ltd., США), Ub (Cloud-Clone Corp., США) анализировали методом иммуноферментного анализа.

Статистический анализ выполнен в R (v. 4.1.1):

- для количественных переменных: медиана (Me) с указанием межквартильного размаха (Q1–Q3);
- для качественных признаков: абсолютные и относительные частоты (n, %).

Таблица 1

Сравнение показателей биомаркеров до МР-ФУЗ в группах с иИП и ИП

Table 1

Comparison of biomarker levels before MRgFUS in the RIPC and sham RIPC groups

Биомаркеры	Группа иИП (n=21) Ме (Q1; Q3)	Группа ИП (n=21) Ме (Q1; Q3)	p-уровень различий
TRIM72, ng/ml	0,56 (0,42; 0,82)	0,63 (0,38; 0,85)	0,923
LpPLA2, ng/ml	46,23 (38,15; 49,14)	43,03 (37,92; 43,72)	0,238
S100B, ng/ml	0,61 (0,46; 0,77)	0,28 (0,17; 0,84)	0,056
Ub, ng/ml	5,87 (4,1; 10,08)	5,3 (4,64; 5,56)	0,327
ET-1, pg/ml	11,8 (10,7; 13,3)	11,4 (10,3; 16,6)	0,889

Таблица 2

Сравнение показателей биомаркеров после МР-ФУЗ в группах с иИП и ИП

Table 2

Comparison of biomarker levels after MRgFUS in the RIPC and sham RIPC groups

Биомаркеры	Группа контроля с имитацией ИП (n=21) Ме (Q1; Q3)	Группа воздействия ИП (n=21) Ме (Q1; Q3)	p-уровень различий
TRIM72, ng/ml	0,61 (0,45; 0,92)	0,68 (0,49; 0,91)	0,744
LpPLA2, ng/ml	44,12 (29,36; 48,75)	41,77 (36,95; 44,8)	0,406
S100B, ng/ml	1,34 (0,91; 2,74)	0,44 (0,19; 0,63)	0,001
Ub, ng/ml	5,8 (4,96; 9,19)	4,73 (4,46; 5,41)	0,008
ET-1, pg/ml	12,0 (11,1; 12,4)	12,51 (11,65; 15,75)	0,125

Сравнение показателей между группами (иИП и ИП) осуществляли с применением:

– U-критерия Манна – Уитни – для сравнения непрерывных переменных;

– критерия χ^2 (с поправкой Йейтса при необходимости) – для анализа категориальных данных.

Уровень значимости $p < 0,05$.

Исследование было проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией и одобрено этическим комитетом при ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России (протокол № 10 от 13.10.2023), все пациенты подписали информированное согласие для участия в исследовании.

Результаты исследования и их обсуждение

Среди 42 пациентов были 31 мужчина (73,8 %) и 11 женщин (26,2 %). Медиана возраста составила 65 лет (межквартильный размах 62,25–67,5 лет). В структуре неврологической патологии преобладали пациенты с БП – 38 случаев (90,5 %), тогда как ЭТ был диагностирован у четырех человек (9,5 %). Средняя продолжительность заболевания в исследуемой группе составила 7 лет (4; 10). Показатели биомаркеров до МР-ФУЗ в группах не различались (табл. 1).

При сравнении показателей биомаркеров после проведения МР-ФУЗ медианы уровней S100B и Ub значительно различались при $p < 0,05$: в группе с иИП показатели были значительно выше (табл. 2).

На следующем этапе проводилось внутригрупповое сравнение для группы пациентов, которым проводилось ИП (n=21, табл. 3).

В группе ИП различий до и после процедуры не выявлено. На рис. 2, а–д представлены бокс-плоты сравнения уровней биомаркеров до и после проведения воздействия в группе пациентов с ИП.

В табл. 4 представлены результаты внутригруппового сравнения для группы с иИП (n=21), где значимые различия после иИП достигались при уровне $p < 0,05$ для медиан биомаркеров TRIM72 и S100B.

Оценено влияние дистанционного ИП на динамику биомаркеров – TRIM72, убиквитина (Ub), S100B, LpPLA2 и эндотелина-1 – у пациентов с экстрапиримидными двигательными расстройствами после МР-ФУЗ.

Дистантное ИП защищает ткани за счет системного высвобождения защитных медиаторов (аденозина, брадикинина, опиоидов), активации сигнальных путей PI3K/Akt и ERK1/2, повышения экспрессии белков теплового шока (HSP-70, HSP-25) [10, 11]. Кроме того, ИП модулирует высвобождение про- и противовоспалительных цитокинов, снижая уровни TNF- α и IL-1, IL-6, IL-8 и повышая IL-10 через GSK3 β /Nrf2-опосредованные пути [12–14].

В многоцентровом рандомизированном контролируемом исследовании S. Zhu et al. (2022) с участием 120 пациентов (105 включены в окончательный анализ) дистантное ИП достоверно снижало уровни биомаркеров повреждения головного мозга по сравнению с контрольной группой: концентрация S100- β была значительно ниже в группе RIPC через 6 часов после операции (50,75 пг/мл против 70,48 пг/мл

Таблица 3

Сравнение уровней биомаркеров до и после проведения воздействия МР-ФУЗ в группе ИП (n=21)

Table 3

Comparison of biomarker levels before and after the MRgFUS procedure in the RPC group (n=21)

Биомаркеры	Me (Q1; Q3) до МР-ФУЗ	Me (Q1; Q3) после МР-ФУЗ	p-уровень различий
TRIM72, ng/ml	0,63 (0,38; 0,85)	0,68 (0,49; 0,91)	0,082
LpPLA2, ng/ml	43,03 (37,92; 43,72)	41,77 (36,95; 44,8)	0,808
S100B, ng/ml	0,28 (0,17; 0,84)	0,44 (0,19; 0,63)	0,781
Ub, ng/ml	5,3 (4,64; 5,56)	4,73 (4,46; 5,41)	0,175
ET-1, pg/ml	11,4 (10,3; 16,6)	12,51 (11,65; 15,75)	0,360

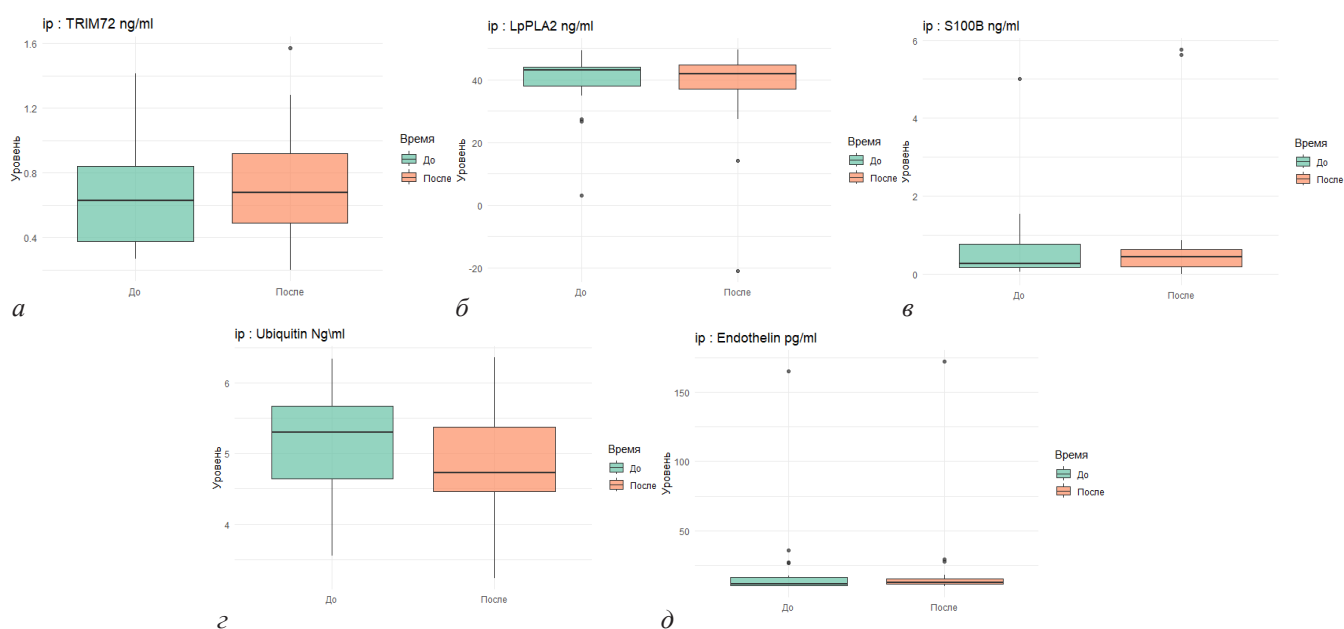


Рис. 2. Бокс-плоты сравнения уровней биомаркеров до и после МР-ФУЗ в группе ИП для: а – TRIM72; б – LpPLA2; в – S100B; г – убиквитина; д – ET-1

Fig. 2. Box plots comparing biomarker levels before and after MRgFUS in the RPC group for: а – TRIM72; б – LpPLA2; в – S100B; г – Ubiquitin; д – ET-1

Таблица 4

Сравнение уровней биомаркеров до и после проведения воздействия МР-ФУЗ в группе иИП (n=21)

Table 4

Comparison of biomarker levels before and after the MRgFUS procedure in the sham RPC group (n=21)

Биомаркеры	Me (Q1; Q3) до МР-ФУЗ	Me (Q1; Q3) после МР-ФУЗ	P-уровень различий
TRIM72, ng/ml	0,56 (0,42; 0,82)	0,61 (0,45; 0,92)	0,032
LpPLA2, ng/ml	46,23 (38,15; 49,14)	44,12 (29,36; 48,75)	0,748
S100B, ng/ml	0,61 (0,46; 0,77)	1,34 (0,91; 2,74)	0,016
Ub, ng/ml	5,87 (4,1; 10,08)	5,8 (4,96; 9,19)	0,975
ET-1, pg/ml	11,8 (10,7; 13,3)	12,0 (11,1; 12,4)	0,889

в контроле, $p=0,036$), а также через 24 часа ($p<0,001$) и 72 часа ($p=0,012$). Аналогичная динамика наблюдалась для нейроспецифической енолазы (NSE) – ее уровни были достоверно ниже в группе RPC через 6 часов ($p=0,014$), 24 часа ($p<0,001$), 48 часов ($p<0,001$) и 72 часа ($p<0,001$) у пациентов после кар-

диохирургических вмешательств с искусственным кровообращением [4]. Концентрация S100B резко увеличивается в крови в течение первых часов после повреждений мозга (травматических или абляционных) и является надежным биомаркером повреждения глии и ГЭБ [15].

Белок TRIM72 опосредует восстановление мембран за счет рекрутирования везикул к местам повреждения [16–18]. По данным нашего исследования, в группе иИП после ФУЗ-воздействия статистически значимо повышались уровни TRIM72 ($p=0,032$) и S100B ($p=0,026$), в то время как в группе ИП изменения были незначительными.

S100B – надежный биомаркер повреждения глии и ГЭБ, повышающийся в первые часы после повреждения мозга [15, 19]. Повышение S100 в группе иИП указывает на более выраженный нейрональный стресс/повреждение нейронов и глии и возможный протективный эффект предшествующего ИП. S100B может служить предиктором тяжести повреждения нервной ткани, а уровень TRIM27 – маркером активации мембранных репарационных механизмов.

Убиквитин регулирует деградацию поврежденных белков [7]. Снижение уровня убиквитина после МР-ФУЗ может отражать уменьшение протеасомальной деградации белковых агрегатов, что косвенно подтверждает мобилизацию восстановительных механизмов. Как показывают исследования, ИП предотвращает постишемическую дисфункцию протеасомы, снижая накопление убиквитинированных и денатурированных белков; сохраняя активности митохондриальных КАТР-каналов [20–21].

Lp-PLA2 – фермент, который гидролизует окисленные фосфолипиды в ЛПНП, образуя провоспалительные медиаторы (лизосфосфатидилхолин и оксигирные кислоты [8]. Эндотелин-1 – мощный вазоконстриктор, маркер эндотелиальной дисфункции [9]. Их уровни оставались практически неизменными ($p>0,1$), что отражает отсутствие выраженного системного сосудистого воспаления и изменений сосудистого тонуса на фоне МР-ФУЗ термоабляции. Возможно, ИП заметно не влияет на эти параметры на ранней фазе.

Ограниченная по численности выборка и гетерогенность нозологий требуют большей стратификации пациентов, а однократный сеанс ИП не охватил диапазон «второго окна» защиты. Перспективны исследования с повторными сеансами ИП за 24 и 48 ч до вмешательства и включением дополнительных биомаркеров: про- и противовоспалительных цитокинов (IL-6, TNF- α), фактор роста (BDNF, VEGF), а также оценкой изменений *in vivo* с помощью функциональной МРТ и диффузионно-тензорной визуализации для корреляции биохимических и нейровизуализационных данных.

Выводы

Ишемическое preconditioning ассоциируется со снижением S100B и убиквитина, что может свидетельствовать о цитопротективном влиянии, уменьшая повреждение ГЭБ и нейронов. Это позволяет защищать перифокальные ткани при формировании очага термонекроза без утраты клинического эффекта и использовать данные биомаркеры как прогностические показатели эффективности и безопасности лечения.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare that they have no conflict of interest.

Финансирование / Financing

Работа выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства Башкирского государственного медицинского университета (ПРИОРИТЕТ-2030). / The work was carried out with the support of the Strategic Academic Leadership Program of Bashkir State Medical University (PRIORITY 2030).

Литература / References

1. Галимова Р. М., Иллариошкин С. Н., Бузаев И. В., Качемаева О. В. Терапия двигательных нарушений методом фокусированного ультразвука под контролем магнитно-резонансной томографии. Рекомендации для неврологов по отбору пациентов // Бюллетень национального общества по изучению болезни Паркинсона и расстройств движений. 2020. № 9. С. 9–15. [Galimova RM, Illarioshkin SN, Buzaev IV, Kachemaeva OV. Therapy of motor disorders by magnetic resonance-guided focused ultrasound. Guidelines for neurologists on patient selection. Byulleten' Natsional'nogo obshchestva po izucheniyu bolezni Parkinsona i rasstroystv dvizhenii = Bulletin of the National Society for the Study of Parkinson's Disease and Movement Disorders. 2020; (9):9–15. (In Russ).]. Doi: 10.24411/2226-079X-2020-12168.
2. Leporace M, Calabria FF, Siciliano R, et al. The thermal ablation with mrgfus: from physics to oncological applications. *Cancers (Basel)*. 2024;17(1):36. Doi: 10.3390/cancers17010036.
3. Jia P, Ji Q, Zou Z, et al. Effect of delayed remote ischemic preconditioning on acute kidney injury and outcomes in patients undergoing cardiac surgery: a randomized clinical trial. *Circulation*. 2024;150(17):1366–1376. Doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.124.071408.
4. Zhu S, Zheng Z, Lv W, et al. Neuroprotective effect of remote ischemic preconditioning in patients undergoing cardiac surgery: a randomized controlled trial. *Front Cardiovasc Med*. 2022;9:952033. Doi: 10.3389/fcvm.2022.952033.
5. Wang YF, An ZY, Li JW, et al. MG53/TRIM72: multi-organ repair protein and beyond. *Front Physiol*. 2024;15:1377025. Doi: 10.3389/fphys.2024.1377025.
6. Marenholz I, Heizmann CW, Fritz G. S100 proteins in mouse and man: from evolution to function and pathology (including an update of the nomenclature). *Biochem Biophys Res Commun*. 2004;322(4):1111–1122. Doi: 10.1016/j.bbrc.2004.07.096.
7. Powell SR, Herrmann J, Lerman A, et al. The ubiquitin-proteasome system and cardiovascular disease. *Prog Mol Biol Transl Sci*. 2012;109:295–346. Doi: 10.1016/B978-0-12-397863-9.00009-2.
8. Shen G, Thomas TS, Walpert AR, et al. Role of renin-angiotensin-aldosterone system activation and other metabolic variables in relation to arterial inflammation in HIV. *Clin Endocrinol (Oxf)*. 2022;97(5):581–587. Doi: 10.1111/cen.14784.
9. Haynes WG, Webb DJ. Contribution of endogenous generation of endothelin-1 to basal vascular tone. *Lancet*. 1994; 344(8926):852–854. Doi: 10.1016/s0140-6736(94)92827-4.
10. Comità S, Rubeo C, Giordano M, et al. Pathways for cardioprotection in perspective: focus on remote conditioning and extracellular vesicles. *Biology (Basel)*. 2023;12(2):308. Doi: 10.3390/biology12020308.

11. D'Ascenzo F, Femminò S, Ravera F, et al. Extracellular vesicles from patients with Acute Coronary Syndrome impact on ischemia-reperfusion injury. *Pharmacol Res.* 2021;170:105715. Doi: 10.1016/j.phrs.2021.105715.

12. Luca C, Boieriu A, Neculoiu D, Tint D. The impact of remote ischemic preconditioning on inflammation markers in patients undergoing coronary artery bypass grafting. *Cardiol Res.* 2024;15(5):369–376. Doi: 10.14740/cr1702.

13. Wang H, Lyu Y, Liao Q, et al. Effects of remote ischemic preconditioning in patients undergoing off-pump coronary artery bypass graft surgery. *Front Physiol.* 2019;10:495. Doi: 10.3389/fphys.2019.00495.

14. Gorjipour F, Saeedzadeh T, Toloueitabar Y, et al. Remote ischemic preconditioning effects on inflammatory markers and myocardial protection in coronary artery bypass graft surgery. *Perfusion.* 2022;37(1):56–61. Doi: 10.1177/0267659120979293.

15. Graham EM, Burd I, Everett AD, Northington FJ. Blood biomarkers for evaluation of perinatal encephalopathy. *Front Pharmacol.* 2016;7:196. Doi: 10.3389/fphar.2016.00196.

16. Meroni G, Diez-Roux G. TRIM/RBCC, a novel class of 'single protein RING finger' E3 ubiquitin ligases. *Bioessays.* 2005;27(11):1147–1157. Doi: 10.1002/bies.20304.

17. Reymond A, Meroni G, Fantozzi A, et al. The tripartite motif family identifies cell compartments. *EMBO J.* 2001;20(9):2140–2151. Doi: 10.1093/emboj/20.9.2140.

18. Ponting C, Schultz J, Bork P. SPRY domains in ryanodine receptors (Ca(2+)-release channels). *Trends Biochem Sci.* 1997;22(6):193–194. Doi: 10.1016/s0968-0004(97)01049-9.

19. Žurek J, Fedora M. The usefulness of S100B, NSE, GFAP, NF-H, secretagogin and Hsp70 as a predictive biomarker of outcome in children with traumatic brain injury. *Acta Neurochir (Wien).* 2012;154(1):93–103. Doi: 10.1007/s00701-011-1175-2.

20. Churchill EN, Ferreira JC, Brum PC, et al. Ischaemic preconditioning improves proteasomal activity and increases the degradation of deltaPKC during reperfusion. *Cardiovasc Res.* 2010;85(2):385–394. Doi: 10.1093/cvr/cvp334.

21. Powell SR, Wang P, Katzeff H, et al. Oxidized and ubiquitinated proteins may predict recovery of postischemic cardiac function: essential role of the proteasome. *Antioxid Redox Signal.* 2005;7(5-6):538–546. Doi: 10.1089/ars.2005.7.538.

Информация об авторах

Мухаммадеева Наиля Рифхатовна – аспирант кафедры пропедевтики внутренних болезней, Башкирский государственный медицинский университет; заместитель главного врача по медицинской части, врач-кардиолог, ООО «КИН» Международный медицинский центр им. В. С. Бузаева, г. Уфа, Россия, e-mail: ishtu2013@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-5158-2707.

Качемаева Ольга Валерьевна – канд. мед. наук, доцент кафедры неврологии, Башкирский государственный медицинский университет; врач-невролог, ООО «КИН» Международный медицинский центр им. В. С. Бузаева, г. Уфа, Россия, e-mail: olga.kachemaeva@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9949-9582.

Бузаев Игорь Вячеславович – д-р мед. наук, профессор кафедры госпитальной хирургии, Башкирский государственный медицинский университет; директор по развитию, врач – сердечно-сосудистый хирург, ООО «КИН» Международный медицинский центр им. В. С. Бузаева, г. Уфа, Россия, e-mail: igor@buzaeв.ru, ORCID: 0000-0003-0511-9345.

Галимова Резида Маратовна – д-р мед. наук, доцент кафедры нейрохирургии и медицинской реабилитации, Баш-

кирский государственный медицинский университет; врач-нейрохирург, ООО «КИН» Международный медицинский центр им. В. С. Бузаева, г. Уфа, Россия, e-mail: rezida@galimova.com, ORCID: 0000-0003-2758-0351.

Лакман Ирина Александровна – канд. техн. наук, доцент, заведующий лабораторией исследования социально-экономических проблем регионов, Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия, e-mail: lackmania@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9876-9202.

Набиева Зарина Рамилевна – студент направления 01.03.05 «Статистика», Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия, ORCID: 0009-0007-5508-3201.

Сахатудинова Гюльнар Муратовна – д-р мед. наук, профессор кафедры поликлинической терапии, Башкирский государственный медицинский университет, г. Уфа, Россия, ORCID: 0000-0002-9071-8184.

Саморолов Александр Владимирович – д-р мед. наук, доцент кафедры фармакологии с курсом клинической фармакологии, Башкирский государственный медицинский университет, г. Уфа, Россия, e-mail: AVSamorodov@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9302-499X.

Загидуллин Науфаль Шамилович – д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой пропедевтики внутренних болезней, Башкирский государственный медицинский университет, г. Уфа, Россия, e-mail: znaufal@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2386-6707.

Authors information

Mukhamadeeva Nailya R. – PhD Student, Department of Propaedeutics of Internal Medicine, Bashkir State Medical University; Deputy Chief Physician for Medical Affairs, Cardiologist, Intelligent Neurosurgery Clinic, Buzaev International Medical Center, Ufa, Russia, e-mail: ishtu2013@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-5158-2707.

Kachemaeva Olga V. – Cand. Med. Sci., Associate Professor, Department of Neurology, Bashkir State Medical University; Neurologist, Intelligent Neurosurgery Clinic, Buzaev International Medical Center, Ufa, Russia, e-mail: olga.kachemaeva@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9949-9582.

Buzaev Igor V. – Dr. Med. Sci., Professor, Department of Hospital Surgery, Bashkir State Medical University; Development Director, Cardiovascular Surgeon, Intelligent Neurosurgery Clinic, Buzaev International Medical Center, Ufa, Russia, e-mail: igor@buzaeв.ru, ORCID: 0000-0003-0511-9345.

Galimova Rezida M. – Dr. Med. Sci., Associate Professor, Department of Neurosurgery and Medical Rehabilitation, Bashkir State Medical University; Neurosurgeon, Intelligent Neurosurgery Clinic, Buzaev International Medical Center, Ufa, Russia, e-mail: rezida@galimova.com, ORCID: 0000-0003-2758-0351.

Lakman Irina A. – Cand. Tech. Sci., Associate Professor, Head, Laboratory for Research of Social and Economic Problems of Regions, Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia, e-mail: lackmania@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9876-9202.

Nabieva Zarina R. – Statistics Student, Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia, ORCID: 0009-0007-5508-3201.

Sakhautdinova Gulnar M. – Dr. Med. Sci., Professor, Department of Polyclinic Therapy, Bashkir State Medical University, Ufa, Russia, e-mail: —, ORCID: 0000-0002-9071-8184.

Samorodov Alexander V. – Dr. Med. Sci., Associate Professor, Department of Pharmacology with Course of Clinical Pharmacology, Bashkir State Medical University, Ufa, Russia, e-mail: AVSamorodov@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9302-499X.

Zagidullin Naufal Sh. – Dr. Med. Sci., Professor, Head, Department of Propaedeutics of Internal Medicine, Bashkir State Medical University, Ufa, Russia, e-mail: znaufal@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2386-6707.