

DOI: <https://doi.org/10.22263/2312-4156.2025.4.25>

Анализ уровня сывороточного железа у пациентов с травматическим повреждением головного мозга

А.Л. Липницкий^{1,2}, А.В. Марочков¹, Д.П. Маркевич³, И.А. Купреева¹, И.Н. Лойко¹,
О.В. Дозорцева¹

¹Учреждение здравоохранения «Могилёвская областная клиническая больница», г. Могилев, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет», г. Витебск, Республика Беларусь

³Учреждение здравоохранения «Могилёвская клиническая больница скорой медицинской помощи», г. Могилев, Республика Беларусь

Вестник ВГМУ. – 2025. – Том 24, №4. – С. 25-32.

Analysis of serum iron levels in patients with traumatic brain injury

A.L. Lipnitski^{1,2}, A.V. Marochkov^{1,2}, D.P. Markevich³, I.A. Kupreyeva¹, I.M. Loika¹,
V.U. Dazortsava¹

¹Mogilev Regional Clinical Hospital, Mogilev, Belarus

²Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University, Vitebsk, Republic of Belarus

³Mogilev Clinical Hospital of Emergency Medical Care, Mogilev, Republic of Belarus

Vestnik VGMU. 2025;24(4):25-32.

Резюме.

Снижение уровня сывороточного железа может быть часто отмечено у пациентов после травматического повреждения головного мозга.

Цель – изучить динамику уровня железа в крови у пациентов с необратимым травматическим повреждением головного мозга.

Материал и методы. В проспективное нерандомизированное исследование было включено 107 пациентов с тяжелым травматическим повреждением головного мозга (черепно-мозговая травма). Возраст пациентов был равен 52 (39; 60) года; масса тела – 78 (70; 85) кг; пациентов мужского пола – 83 (77,6%), женского – 24 (22,4%). В зависимости от исхода лечения были сформированы две группы: пациенты с положительным исходом лечения (группа 1, n=56) и с неблагоприятным результатом интенсивной терапии (группа 2, n=51), у которых в процессе лечения была констатирована смерть мозга. Пациентам проводили анализ уровня сывороточного железа на 1, 2, 3, 5, 7 и 10 сутки. Результаты. Между двумя группами были выявлены статистически значимые отличия по: уровню сознания по Шкале ком Глазго при поступлении (12 (8; 14) баллов в группе 1 и 5 (4; 6) баллов в группе 2 ($p<0,0001$)); объему внутримозговой гематомы (76 (56; 107) мл и 150 (75; 185) мл соответственно ($p=0,0057$)); объему кровопотери во время оперативного вмешательства (293,5 (211; 505) мл и 500 (254; 750) мл соответственно ($p=0,038$)); тяжесть состояния по шкале SOFA при поступлении (3 (1; 6) балла и 7,5 (6; 11) балла соответственно, ($p<0,0001$)). Статистически значимых различий в уровне сывороточного железа на 1-ые и 2-ые сутки выявлено не было: на 1 сутки – 7,9 (4,1; 12,7) мкмоль/л в группе 1 и 5,4 (2; 11,9) мкмоль/л в группе 2 ($p=0,48$). На 3-е и последующие сутки исследования наблюдаются статистически значимые отличия между группами пациентов в уровне железа: на 3 сутки – 5,1 (3,3; 9,8) мкмоль/л в группе 1 и 3 (2; 4,1) мкмоль/л в группе 2 ($p=0,002$).

Заключение. У пациентов со смертью мозга наблюдается более низкий уровень сывороточного железа на 3-е и последующие сутки, что связано как с большим повреждением головного мозга, так и с синдромом системного воспалительного ответа значительно нарастающего при смерти мозга.

Ключевые слова: сывороточное железо, железо, черепно-мозговая травма, смерть мозга, потенциальный донор, донор органов.

Abstract.

Decreased serum iron levels can be frequently observed in patients after traumatic brain injury.

Objectives. To investigate the dynamics of serum iron levels in patients with irreversible traumatic brain injury.

Material and methods. 107 patients with severe traumatic brain injury were included in the prospective non-randomized study. The patients were 52 (39; 60) years old; weight – 78 (70; 85) kg; 83 (77.6%) male and 24 (22.4%) female patients. Depending on the treatment outcome, 2 groups were formed: patients with a positive treatment outcome (group 1, n=56) and with an unfavorable results of intensive care (group 2, n=51), in whom the brain death was declared during treatment. In patients the serum iron levels were analyzed on the 1, 2, 3, 5, 7 and 10 days.

Results. Statistically significant differences were found between the two groups in: level of consciousness according to the Glasgow Coma Scale upon admission (12 (8; 14) points in group 1 and 5 (4; 6) points in group 2 ($p<0.0001$)); volume of the intracranial hematoma (76 (56; 107) ml and 150 (75; 185) ml, respectively ($p=0.0057$)); the volume of blood loss during surgery (293.5 (211; 505) ml and 500 (254; 750) ml, respectively ($p=0.038$)); severity of the condition according to the SOFA scale upon admission (3 (1; 6) points and 7.5 (6; 11) points, respectively, ($p<0.0001$)). No statistically significant differences in the serum iron level on the 1st and 2nd days were found: on the 1st day – 7.9 (4.1; 12.7) $\mu\text{mol/l}$ in group 1 and 5.4 (2; 11.9) $\mu\text{mol/l}$ in group 2 ($p=0.48$). On the 3rd and subsequent days of the study, statistically significant differences in the iron level between the groups of patients were observed: on the 3rd day - 5.1 (3.3; 9.8) $\mu\text{mol/l}$ in group 1 and 3 (2; 4.1) $\mu\text{mol/l}$ in group 2 ($p=0.002$).

Conclusions. Patients with the brain death have lower serum iron levels on the 3rd and subsequent days; it is associated with both greater brain damage and systemic inflammatory response syndrome, which increases significantly with brain death.

Keywords: serum iron, iron, traumatic brain injury, brain death, potential donor, organ donor.

Введение

Пациенты с необратимым травматическим повреждением головного мозга являются наиболее частыми молодыми потенциальными донорами органов и тканей для трансплантации [1]. Однако, несмотря на более молодой возраст, данный пул доноров является крайне тяжелым в проведении протективной интенсивной терапии, что связано с большой частотой сочетанной травмы, высокой кровопотерей, проведением оперативных вмешательств и большей длительностью нахождения в отделениях анестезиологии и реанимации [2]. Значительное количество потенциальных доноров с травматическим повреждением головного мозга может быть потеряно из-за недостаточной и несвоевременной коррекции системных нарушений [3]. Поэтому, кондиционирование функциональных систем данных пациентов, которое включает раннее выявление и протективную интенсивную терапию множества нарушений гомеостаза, может значительно увеличить число мультиорганных заборов у потенциальных доноров с необратимым травматическим повреждением головного мозга [2, 3].

Во время тяжелой черепно-мозговой травмы (ЧМТ) и начала процесса смерти мозга у пациента происходят значительные патофизиологические нарушения водно-электролитного и кислотно-основного состояния, эндокринные нарушения, синдром системного воспалительного ответа и др. [4, 5]. Наиболее изученными

при этих процессах являются электролитные нарушения макроэлементов (натрия, калия, хлора, магния, кальция). Причинами электролитных нарушений при ЧМТ является неадекватная секреция антидиуретического гормона, неадекватная инфузионно-трансфузионная терапия, применение диуретиков, кровопотеря [3]. Роль изменения уровня микроэлементов во время ЧМТ и смерти мозга пока остается не установленной.

Одним из ключевых элементов организма является железо. Оно играет важнейшую роль в транспортировке кислорода, а также в синтезе ряда ферментов и в клеточном метаболизме [6]. Имеется ограниченное число исследований по динамике сывороточного железа у пациентов с тяжелым травматическим повреждением головного мозга [7]. Снижение железа происходит крайне быстро у данных пациентов после повреждения мозга, что может использоваться как предиктор возможного летального исхода [5].

У пациентов со смертью мозга изучение уровня железа в сыворотке крови ранее не проводилось. В связи с этим, целью данного исследования было изучить динамику уровня железа в крови у пациентов с необратимым травматическим повреждением головного мозга.

Материал и методы

В проспективное нерандомизированное исследование было включено 107 пациентов с тя-

желым травматическим повреждением головного мозга (черепно-мозговая травма), которые находились в ОАиР Могилевской области с 1 января 2018 по 1 января 2024 гг. На проведение исследования было получено согласие Комитета по этике.

Возраст пациентов был равен 52 (39; 60) года (минимальный возраст – 18 лет, максимальный возраст – 81 год); масса тела – 78 (70; 85) кг. Пациентов мужского пола было 83 (77,6%), женского – 24 (22,4%).

Всем пациентам проводилась интенсивная терапия согласно протоколам лечения пациентов с черепно-мозговыми травмами, находящихся в критическом состоянии. При наличии показаний и отсутствии противопоказаний, пациентам проводилось оперативное вмешательство – краниотомия и удаление внутричерепных гематом. Объем гематомы и величину смещения срединных структур определяли по данным компьютерной томографии или во время операции.

В зависимости от исхода лечения были сформированы две группы пациентов. В группу 1 включили 56 пациентов с положительным исходом лечения, а в группу 2 – 51 пациент с неблагоприятным результатом интенсивной терапии, у которых в процессе лечения была констатирована смерть мозга.

Состояние смерти мозга (биологическая смерть) устанавливали врачебным консилиумом учреждения здравоохранения, где находился потенциальный донор, в соответствии с общепризнанными международными критериями и действующими нормативно-правовыми актами Республики Беларусь. Время от поступления пациента в ОАиР до начала процесса констатации смерти мозга (проведение первого обследования врачебного консилиума) было равно 88,3 (55,5; 128,8) ч.

Пациентам проводили все необходимые клинические и лабораторно-инструментальные методы обследования. Также пациентам проводили анализ крови на уровень сывороточного железа. В данном исследовании проводили анализ уровня железа, полученный на 1, 2, 3, 5, 7 и 10 сутки поступления в отделение анестезиологии и реанимации или до момента констатации смерти мозга и проведения операции по забору донорских органов или тканей для трансплантации. Уровень сывороточного железа определяли колориметрическим методом с хромогеном ТПТЗ, референтные значения содержания железа составляли 10,7-32,2 мкмоль/л.

Статистический анализ полученных результатов был проведен с применением программы

Statistica 12.0 (StatSoft Inc., США). Проверка полученных данных на нормальность распределения была проведена с применением теста Шапиро-Уилка (Shapiro-Wilk Test). Данные представлялись в виде медианы и квартилей (Me (LQ; UQ)). С целью оценки значимости различий между независимыми группами использовали тест Манна-Уитни (Mann-Whitney U Test), а между зависимыми – тест Вилкоксона (Wilcoxon Matched Pairs Test) или критерий Фридмана и коэффициент конкордации Кендалла (для 3-х и более групп) (Friedman ANOVA and Kendall Coeff). При проведении множественных сравнений проводилась корректировка значений p с использованием поправки Бонферрони (Bonferonni). Для оценки значимости отличий качественных признаков применяли критерий χ^2 (Pearson Chi-square test). Оценка наличия корреляции проводилась с помощью непараметрического коэффициента корреляции Спирмена (Spearman rank, R). Отличия считались достоверными при $p < 0,05$.

Результаты

Сравнительная характеристика пациентов обеих групп представлена в таблице. Обе группы статистически значимо не отличались между собой по полу, возрасту и массе тела. При этом имелись значимые отличия по таким параметрам, как уровень сознания по Шкале ком Глазго, оцениваемый при поступлении в приемное отделение; объем внутричерепной гематомы и смещение срединных структур; объем кровопотери во время оперативного вмешательства; тяжесть состояния по шкале SOFA, оцениваемая при поступлении в ОАиР; длительность искусственной вентиляции легких (ИВЛ).

Уровень сывороточного железа при поступлении в ОАиР у всех пациентов обеих групп был равен 7,9 (4,21; 12,4) мкмоль/л (минимальное значение – 1,2 мкмоль/л, максимальное – 25,1 мкмоль/л) (рис. 1). На 2 сутки интенсивной терапии уровень сывороточного железа был – 4,7 (2,9; 8,7) мкмоль/л, $p=0,16$ vs 1 сутки (Wilcoxon Matched Pairs Test). На 3 сутки интенсивной терапии уровень сывороточного железа был – 3,7 (2,4; 5,8) мкмоль/л, $p=0,06$ vs 2 сутки. На 5 сутки у пациентов уровень сывороточного железа стал равен 3,5 (2,4; 6,7) мкмоль/л, $p=0,54$ vs 3 сутки. На 7 и 10 сутки уровень сывороточного железа до 4,6 (2,5; 9,6) мкмоль/л ($p=0,077$ vs 5 сутки) и 4,8 (2,2; 10,9) мкмоль/л ($p=0,62$ vs 7 сутки) соответ-

Таблица – Характеристика пациентов группы 1 и 2, Me (LQ; UQ)

Показатель	Группа 1, n= 56	Группа 2, n=51	Уровень достоверности, p*
Пол, муж/жен	46/10	37/14	0,24**
Возраст, лет	53 (40; 61)	47 (38; 55)	0,16
Масса тела, кг	75 (70; 82,5)	80 (70; 90)	0,13
ШКГ при поступлении, баллы	12 (8; 14)	5 (4; 6)	<0,000001
Объем внутримозговой гематомы, мл	76 (56; 107)	150 (75; 185)	0,0057
Смещение срединных структур ГМ, мм	5 (3; 9)	13,5 (4; 17)	0,025
Кровопотеря, мл	293,5 (211; 505)	500 (254; 750)	0,038
Длительность ИВЛ, ч	10 (0; 240)	122 (101; 167)	0,0026
Тяжесть состояния по SOFA, баллы	3 (1;6)	7,5 (6; 11)	0,000004

Примечание: * – для анализа использовали критерий Манна-Уитни (Mann-Whitney U test); ** – для анализа использовали χ^2 по Пирсону (Pearson Chi-square).

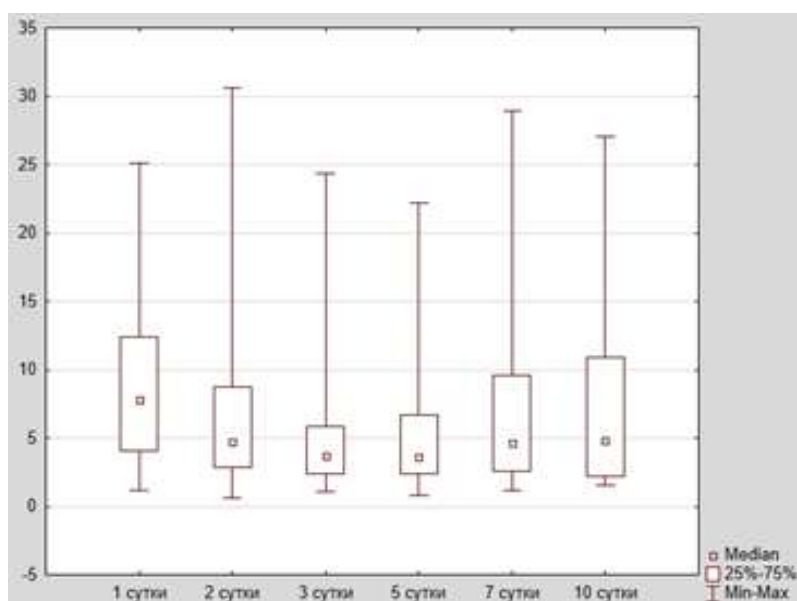


Рисунок 1 – Динамика уровня сывороточного железа на этапах исследования

ственно. При сравнении всех этапов между собой статистически значимых отличий выявлено не было – $p=0,43$, $K_{\text{conc}}=0,49$, $r=-0,03$ (критерий Фридмана и коэффициент конкордации Кендалла).

Динамика сывороточного железа у пациентов с положительным исходом заболевания и у пациентов с произошедшей смертью мозга приведена на рисунке 2. Как следует из данного графика, статистически значимых различий в уровне сывороточного железа при поступлении (1 сутки) выявлено не было: 7,9 (4,1; 12,7) мкмоль/л в группе 1 и 5,4 (2; 11,9) мкмоль/л в группе 2 ($p=0,48$, Mann-Whitney U Test). На 2 сутки статистически значимых отличий между группами также выявлено не было. На 3-и сутки исследования наблюдается статистически значимое отличие между

группами пациентов в уровне железа: 5,1 (3,3; 9,8) мкмоль/л в группе 1 и 3 (2; 4,1) мкмоль/л в группе 2 ($p=0,002$). На пятые и последующие сутки исследования также были выявлены статистически значимые отличия между группами в уровне сывороточного железа (рис. 2).

Таким образом, уровень сывороточного железа за все этапы исследования в группе выживших пациентов составил 6,4 (3,3; 11,5) мкмоль/л, а в группе пациентов со смертью мозга – 3,2 (2; 4,9) мкмоль/л ($p<0,000001$).

У пациентов в группе 2 в день проведения первого обследования по констатации смерти мозга уровень сывороточного железа был равен 3,1 (1,9; 4,5) мкмоль/л, а после проведения второго обследования и констатации смерти мозга произошло статистически значимое снижение

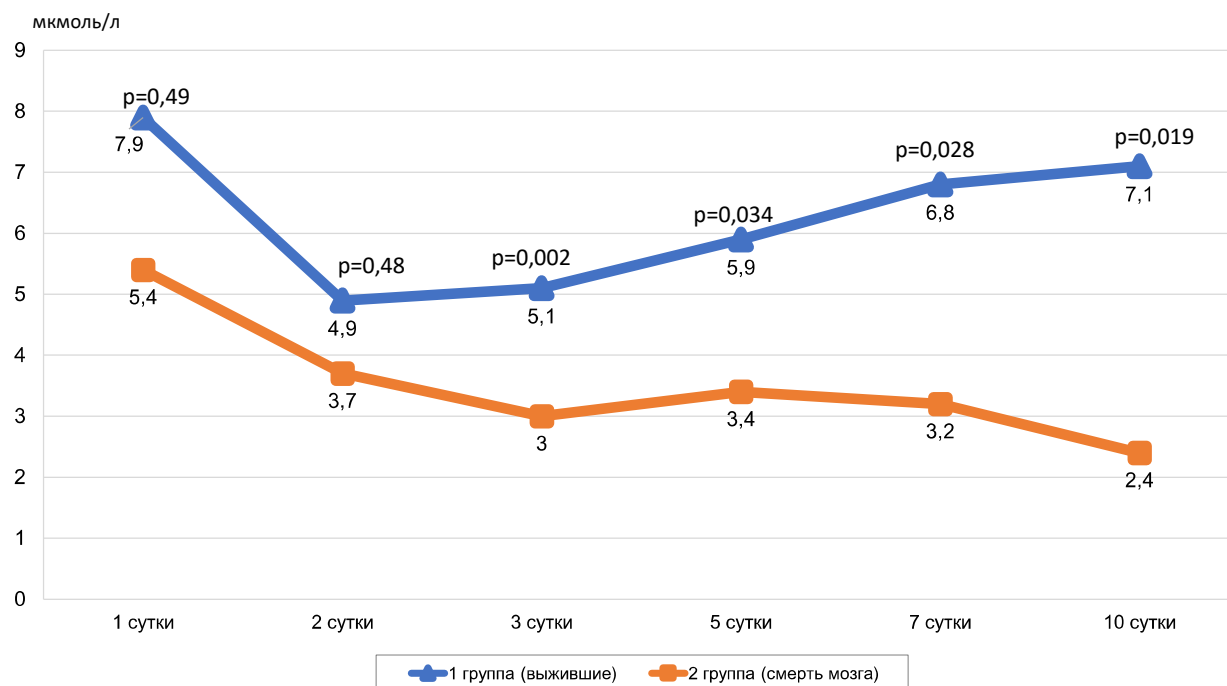


Рисунок 2 – Динамика уровня сывороточного железа у пациентов с благоприятным исходом черепно-мозговой травмы и пациентов со смертью мозга

уровня сывороточного железа до 2,8 (1,8; 4,7) мкмоль/л ($p=0,02$).

Корреляционный анализ выявил наличие слабой статистически значимой корреляции между уровнем сывороточного железа на всех этапах и уровнем сознания при поступлении по ШКТ ($R=0,16$ (коэффициент корреляции Спирмена), $p=0,014$); объемом внутричерепной гематомы ($R=-0,15$, $p=0,044$); общим объемом кровопотери во время оперативного вмешательства ($R=-0,3$, $p=0,00004$); тяжестью состояния при поступлении по шкале SOFA ($R=-0,15$, $p=0,035$); длительностью ИВЛ ($R=-0,21$, $p=0,001$).

Обсуждение

В настоящем исследовании было установлено, что пациенты с тяжелым необратимым повреждением головного мозга, у которых была констатирована смерть мозга, статистически значимо имели более низкий уровень сывороточного железа с 1 по 10 сутки интенсивной терапии в сравнении с выжившими пациентами с тяжелым повреждением мозга. При сравнении по этапам исследования, выжившие пациенты с тяжелым повреждением мозга имели статистически значимо более высокий уровень железа на 3, 5, 7 и 10 сутки интенсивной терапии.

Пациенты с произошедшей смертью мозга также имели более низкий уровень сознания и более тяжелое состояние по шкале SOFA при поступлении, больший объем внутричерепной гематомы и смещение срединных структур мозга на КТ, большую интраоперационную кровопотерю и более длительную ИВЛ.

В настоящее время имеется ограниченное число исследований, где изучался бы уровень сывороточного железа у пациентов с тяжелой черепно-мозговой травмой [5, 7, 8]. Ранее было установлено, что уровень сывороточного железа снижается у пациентов с ЧМТ в послеоперационном периоде, а его динамика на пятые сутки интенсивной терапии является предиктором неблагоприятного исхода ($AUC=0,73$, чувствительность 69%, специфичность 60%) [5]. В другом же исследовании у пациентов с ЧМТ уровень сывороточного железа был ниже в сравнении со здоровыми добровольцами, но статистически значимых отличий на 2 и 4 сутки интенсивной терапии между выжившими и умершими пациентами с ЧМТ выявлено не было [7].

Было проведено также исследование по изучению уровня сывороточного железа в отдаленном периоде после произошедшей ЧМТ [8]. В данном исследовании на 90 сутки у пациентов с благоприятным исходом ЧМТ был значительно

выше уровень сывороточного железа по сравнению с пациентами с неблагоприятным исходом (вегетативное состояние или смерть) (6,58 мкмоль/л и 3,66 мкмоль/л соответственно) [8]. Исследования, где изучалась бы динамика сывороточного железа у пациентов со смертью мозга, на данный момент отсутствуют.

Снижение уровня сывороточного железа является универсальным патофизиологическим механизмом при возникновении у пациента синдрома системного воспалительного ответа и регулируется белками острой фазы воспаления, напрямую связанными с метаболизмом железа в организме. Основные из них – это ферритин, трансферин, гепсидин и церулоплазмин [9, 10]. Главной задачей данных острофазовых белков при развитии воспаления является быстрое снижение доступного для метаболизма бактерий свободного железа плазмы. Ключевым из них, по-видимому, является белок гепсидин, который и регулирует обмен железа, блокирует его поступление из клеток, снижает транспорт железа и останавливает его выход из макрофагов [11]. При этом, универсальность синдрома системного воспалительного ответа приводит к снижению уровня железа и при неинфекционном воспалении при травмах и оперативных вмешательствах. Ранее, в исследовании у пациентов после проведения различных оперативных вмешательств было установлено снижение уровня сывороточного железа уже в первые послеоперационные сутки (5,4 (3,9; 8,5) мкмоль/л) [12].

Также было установлено, что свободное сывороточное железо активно участвует в повреждении нейронов и нарастании отека мозга (за счет образования гидроксильных радикалов и увеличения окислительного стресса) у пациентов с внутричерепными кровоизлияниями [13, 14]. Поэтому, учитывая, что низкий уровень свободного железа в плазме у пациентов с тяжелым повреждением мозга имеет и защитную функцию от развития инфекционных осложнений, от нормализации его уровня в остром периоде у данных пациентов, по-видимому, следует отказаться.

Таким образом, установленные нами данные показывают, что при тяжелом повреждении головного мозга на уровень снижения сывороточного железа влияют объем и травматичность повреждения головного мозга. Более низкий уровень железа у пациентов с необратимым повреждением мозга, вероятно, связан как с большим повреждением самого головного мозга, так и с

синдромом системного воспалительного ответа, значительно нарастающего при смерти мозга.

Заключение

При поступлении в ОАиР уровень сывороточного железа у всех пациентов с тяжелым травматическим повреждением мозга был равен 7,9 (4,21; 12,4) мкмоль/л, на 2 сутки – 4,7 (2,9; 8,7) мкмоль/л, 3 сутки – 3,7 (2,4; 5,8) мкмоль/л, 5 сутки – 3,5 (2,4; 6,7) мкмоль/л, на 7 сутки – 4,6 (2,5; 9,6) мкмоль/л и на 10 сутки – 4,8 (2,2; 10,9) мкмоль/л ($p=0,43$).

Уровень сывороточного железа в группе выживших пациентов составил 6,4 (3,3; 11,5) мкмоль/л, а в группе пациентов со смертью мозга – 3,2 (2; 4,9) мкмоль/л ($p<0,000001$).

Литература

1. Щастный, А. Т. Достижения и проблемы трансплантологии на современном этапе / А. Т. Щастный, Е. В. Михневич // Вестник Витебского государственного медицинского университета. 2018. Т. 17, № 5. С. 7–16. DOI: 10.22263/2312-4156.2018.5.7
2. Gunst, J. Management of the brain-dead donor in the intensive care unit / J. Gunst, M. J. Souter // Intensive care medicine. 2024 Apr. Vol. 50. P. 964–967. DOI: 10.1007/s00134-024-07409-4
3. Медицинское сопровождение умершего донора со смертью головного мозга / В. В. Хмара, С. В. Головинский, А. Е. Щерба [и др.] // Здоровоохранение (Минск). 2021. Т. 888, № 3. С. 35–43.
4. Липницкий, А. Л. Динамика показателей системного воспалительного ответа у пациентов со смертью мозга / А. Л. Липницкий, А. В. Марочков // Проблемы здоровья и экологии. 2024. Т. 21, № 4. С. 53–59. DOI: 10.51523/2708-6011.2024-21-4-06
5. Маркевич, Д. П. Динамика содержания показателей водно-электролитного обмена у пациентов с черепно-мозговой травмой в периоперационном периоде / Д. П. Маркевич, А. В. Марочков, В. А. Ливинская // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2020. Т. 18, № 5. С. 575–583. DOI: 10.25298/2221-8785-2020-18-5-575-583
6. Bench-to-bedside review: iron metabolism in critically ill patients / M. Darveau, A. Y. Denault, N. Blais, E. Notebaert // Critical care. 2004 Oct. Vol. 8, № 5. P. 356–362. DOI: 10.1186/cc2862
7. The influence of heavy metals and trace elements on comatose patients with severe traumatic brain injury in the first week of admission / B. Belatar, A. Elabidi, M. Barkiyoun [et al.] // Journal of toxicology. 2018 Sep. Vol. 2018. Art. 7252606. DOI: 10.1155/2018/7252606
8. Особенности обмена железа у пациентов с повреждением головного мозга и длительным нахождением в реанимационном отделении / Т. А. Степанюк, А. Л. Парфёнов, В. В. Милькин [и др.] // Здоровье и образование в XXI веке. 2018. Т. 20, № 5. С. 36–40. DOI: 10.26787/nydha-2226-7425-2018-20-5-36-40
9. Iron as an emerging therapeutic target in critically ill patients / C. Grange, F. Lux, T. Brichart [et al.] // Critical care. 2023

- Dec. Vol. 27, № 1. P. 475. DOI: 10.1186/s13054-023-04759-1
10. Ferritin, serum iron and hemoglobin as acute phase reactants in laparoscopic and open surgery of cholecystectomy: an observational prospective study / C. Vila Zárate, C. M. González, R. J. González Álvarez [et al.] // Pathophysiology. 2022. Vol. 29, № 4. P. 583–594. DOI: 10.3390/pathophysiology29040045
 11. Schmidt, P. J. Regulation of Iron Metabolism by Heparin under Conditions of Inflammation / P. J. Schmidt // The Journal of biological chemistry. 2015 Jul. Vol. 290, № 31. P. 18975–18983. DOI: 10.1074/jbc.R115.650150
 12. Оценка травматичности хирургических операций по динамике уровня сывороточного железа и с-реактивного

- белка / А. Л. Липницкий, А. В. Марочков, И. Я. Савостенко [и др.] // Новости хирургии. 2024. Т. 31, № 6. С. 431–438. DOI: 10.18484/2305-0047.2023.6.431
13. A combination of serum iron, ferritin and transferrin predicts outcome in patients with intracerebral hemorrhage / G. Yang, R. Hu, C. Zhang [et al.] // Scientific reports. 2016 Feb. Vol. 6. P. 21970. DOI: 10.1038/srep21970
 14. The role of iron in brain ageing and neurodegenerative disorders / R. J. Ward, F. A. Zucca, J. H. Duyn [et al.] // Lancet Neurol. 2014 Oct. Vol. 13, № 10. P. 1045–1060. DOI: 10.1016/S1474-4422(14)70117-6

Поступила 25.03.2025 г.

Принята в печать 22.08.2025 г.

References

1. Shchastnyy AT, Mikhnevich EV. Dostizheniya Achievements and problems of transplantology at the present stage. Vestnik Vitebskogo Gosudarstvennogo Meditsinskogo Universiteta. 2018;17(5):7-16. (In Russ.). doi: 10.22263/2312-4156.2018.5.7
2. Gunst J. Management of the brain-dead donor in the intensive care unit. Intensive Care Medicine. 2019 Mar;45(3):343-353. doi: 10.1007/s00134-019-05551-y
3. Khmara VV, Golovinskiy SV, Shcherba AE, Dzyadzko AM, Rummo OO. Medical accompaniment of a deceased donor with brain death. Zdravookhranenie (Minsk). 2021;88(3):35-43. (In Russ.).
4. Lipnitskiy AL, Marochkov AV. Dynamics of indicators of systemic inflammatory response in patients with brain death. Problemy Zdorov'ya i Ekologii. 2024;21(4):53-59. (In Russ.). doi: 10.51523/2708-6011.2024-21-4-06
5. Markevich DP, Marochkov AV, Livinskaya VA. Dynamics of water-electrolyte metabolism in patients with craniocerebral trauma in the perioperative period. Zhurnal Grodnenskogo Gosudarstvennogo Meditsinskogo Universiteta. 2020;18(5):575–583. (In Russ.). doi: 10.25298/2221-8785-2020-18-5-575-583
6. Darveau M, Denault AY, Blais N, Notebaert E. Bench-to-bedside review: iron metabolism in critically ill patients. Critical Care. 2004 Oct;8(5):356-362. doi: 10.1186/cc2862
7. Belatar B, Elabidi A, Barkiyoun M, El Faroudi M, Eljaoudi R, Lahlou L, et al. The influence of heavy metals and trace elements on comatose patients with severe traumatic brain injury in the first week of admission. Journal of Toxicology. 2018 Sep;2018:7252606. doi: 10.1155/2018/7252606.
8. Stepanyuk TA, Parfenov AL, Milkin VV, Pryanikov IV, Grechko AV. Features of iron metabolism in patients with brain injury and prolonged stay in the intensive care unit. Zdorov'e i Obrazovanie v KhKhI veke. 2018;20(5):36–40. (In Russ.). doi: 10.26787/nydha-2226-7425-2018-20-5-36-40
9. Grange C, Lux F, Brichart T, David L, Couturier A, Leaf DE, et al. Iron as an emerging therapeutic target in critically ill patients. Critical Care. 2023 Dec;27(1):475. doi: 10.1186/s13054-023-04759-1
10. Vila Zárate C, González CM, González Álvarez RJ, Darias IS, Pérez BD, González PA, et al. Ferritin, serum iron and hemoglobin as acute phase reactants in laparoscopic and open surgery of cholecystectomy: an observational prospective study. Pathophysiology. 2022 Oct 11;29(4):583-594. doi: 10.3390/pathophysiology29040045
11. Schmidt PJ. Regulation of Iron Metabolism by Heparin under Conditions of Inflammation. The Journal of Biological Chemistry. 2015 Jul;290(31):18975-18983. doi: 10.1074/jbc.R115.650150
12. Lipnitskiy AL, Marochkov AV, Savostenko IYa, Vyukhina EV, Stavchikov EL, Tishkevich IG. Assessment of surgical traumatization by the dynamics of serum iron and c-reactive protein levels. Novosti Khirurgii. 2024;31(6):431-438. (In Russ.). doi: 10.18484/2305-0047.2023.6.431
13. Yang G, Hu R, Zhang C, Qian C, Luo QQ, Yung WH, et al. A combination of serum iron, ferritin and transferrin predicts outcome in patients with intracerebral hemorrhage. Scientific Reports. 2016 Feb;6:21970. doi: 10.1038/srep21970
14. Ward RJ, Zucca FA, Duyn JH, Crichton RR, Zecca L. The role of iron in brain ageing and neurodegenerative disorders. Lancet Neurol. 2014 Oct;13(10):1045-1060. doi: 10.1016/S1474-4422(14)70117-6

Submitted 25.03.2025

Accepted 22.08.2025

Сведения об авторах:

Липницкий Артур Леонидович – к.м.н., доцент, зав. отделением по координации забора органов и тканей для трансплантации, УЗ «Могилёвская областная клиническая больница»; доцент филиала кафедр анестезиологии и реаниматологии с курсом ФПК и ПК и госпитальной хирургии с курсом ФПК и ПК, УО «Витебский государственный ордена дружбы народов медицинский университет, <https://orcid.org/0000-0002-2556-4801>, e-mail: Lipnitski.al@gmail.com;

А.В. Марочков – д.м.н., профессор, врач-анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии и реанимации, УЗ «Могилёвская областная клиническая больница»; профессор филиала кафедр анестезиологии и реаниматологии с курсом ФПК и ПК и госпитальной хирургии с курсом ФПК и ПК, УО «Витебский государственный ордена дружбы народов медицинский университет», <https://orcid.org/0000-0001-5092-8315>;

Д.П. Маркевич – к.м.н., зав. отделением анестезиологии и реанимации, УЗ «Могилёвская областная клиническая больница скорой медицинской помощи», <https://orcid.org/0000-0002-1117-3877>;

И.А. Купреева – зав. централизованной лаборатории клинической биохимии, УЗ «Могилёвская областная клиническая больница», <https://orcid.org/0000-0002-5745-1203>;

И.Н. Лойко – врач лабораторной диагностики централизованной лаборатории клинической биохимии, УЗ «Могилёвская областная клиническая больница», <https://orcid.org/0009-0004-7539-5032>;

О.В. Дозорцева – врач лабораторной диагностики централизованной лаборатории клинической биохимии, УЗ «Могилёвская областная клиническая больница», <https://orcid.org/0000-0002-4059-8321>.

Information about authors:

Artur L. Lipnitski – Candidate of Medical Sciences, head of the department for coordination of taking organs and tissues for transplantation, Mogilev Regional Clinical Hospital; associate professor of the affiliated branch of the Chairs of Anesthesiology and Resuscitation with the course of the Faculty for Advanced Training & Retraining and Hospital Surgery with the course of the Faculty for Advanced Training & Retraining, Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University, <https://orcid.org/0000-0002-2556-4801>, e-mail: Lipnitski.al@gmail.com;

A.V. Marochkov – Doctor of Medical Sciences, professor, anesthesiologist-resuscitator of the anesthesiology and resuscitation department, Mogilev Regional Clinical Hospital; professor of the branch of the Chairs of Anesthesiology & Resuscitation and Hospital Surgery with the course of the Faculty for Advanced Training & Retraining, Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University, <https://orcid.org/0000-0001-5092-8315>;

D.P. Markevich – Candidate of Medical Sciences, head of the anesthesiology and resuscitation department, Mogilev Clinical Emergency Hospital, <https://orcid.org/0000-0002-1117-3877>;

I.A. Kupreeva – head of the centralized laboratory of clinical biochemistry, Mogilev Regional Clinical Hospital, <https://orcid.org/0000-0002-5745-1203>;

I.N. Loyko – physician of laboratory diagnostics of the centralized laboratory of clinical biochemistry, Mogilev Regional Clinical Hospital, <https://orcid.org/0009-0004-7539-5032>;

O.V. Dozortseva – laboratory diagnostics doctor of the centralized laboratory of clinical biochemistry, Mogilev Regional Clinical Hospital, <https://orcid.org/0000-0002-4059-8321>.