

## Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-4-235-248>

УДК 621.391.26

## Рационализация диагностики и прогнозирования исходов черепно-мозговой травмы по биомаркерам крови

А. С. Лысенко<sup>1</sup>, Н. М. Агарков<sup>2,3</sup>✉, Т. И. Якунченко<sup>2,3</sup>, С. Н. Гонтарев<sup>2,3</sup>,  
Д. Р. Шмарова<sup>3</sup>, А. А. Шорохова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Курская городская больница № 1 имени Н. С. Короткова  
ул. Садовая, д. 40, г. Курск, 305004, Российская Федерация

<sup>2</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет  
ул. Победы, д. 85, г. Белгород 308015, Российская Федерация

<sup>3</sup> Юго-Западный государственный университет  
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: vitalaxen@mail.ru

### Резюме

**Цель исследования** – рационализация диагностики и прогнозирования исходов черепно-мозговой травмы по биомаркерам крови.

**Методы.** У 125 обследованных пациентов зрелого (45–59 лет) и пожилого (60–74 лет) возраста с ЧМТ лёгкой и средней степени тяжести изучены показатели крови на 12 сутки после её получения. Общий анализ крови проводился автоматическим анализатором на аппарате GS480A (Китай), биохимический анализ крови – на аппарате THERMO FISHER SCIENTIFIC KoneLab Prime 30 (ООО «Фарма», Россия). При использовании однофакторного регрессионного анализа из изученных 13 показателей крови выявлена диагностическая и прогностическая значимость для 11 переменных. Для оценки качества прогностической многомерной регрессионной модели использовался ROC-анализ (Receiver Operator Characteristic), а для оценки дискриминации модели использовалась площадь под кривой (AUC).

**Результаты.** При многофакторном регрессионном анализе в нескорректированной модели сохранили диагностическую и прогностическую значимость все 11 переменных с наибольшей величиной коэффициента  $\beta$  для содержания в крови калия, лейкоцитов, глюкозы, лимфоцитов и соотношения глюкозы к калию. Вместе с тем в скорректированную по полу и возрасту многофакторную регрессионную модель вошли только 7 переменных и с учётом наиболее значимых разработана прогностическая модель.  $y = 7,561 + 2,652x_1 - 2,848x_2 + 2,458x_3 + 2,573x_4$  Прогностическая ценность созданной модели показала, что AUC составляет 0,725 ( $p = 0,0012$ ) с чувствительностью 62,875%, специфичностью 71,896%.

**Заключение.** Созданная модель обладает достаточным качеством и может использоваться для диагностики и прогнозирования неблагоприятных исходов черепно-мозговой травмы.

**Ключевые слова:** прогнозирование; рационализация диагностики; черепно-мозговая травма; регрессионный анализ; показатели крови.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

© Лысенко А. С., Агарков Н. М., Якунченко Т. И., Гонтарев С. Н., Шмарова Д. Р., Шорохова А. А., 2025

**Для цитирования:** Рационализация диагностики и прогнозирования исходов черепно-мозговой травмы по биомаркерам крови / А. С. Лысенко, Н. М. Агарков, Т. И. Якунченко, С. Н. Гонтарев, Д. Р. Шмарова, А. А. Шорохова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2025. Т. 15, № 4. С. 235–248. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-4-235-248>

Поступила в редакцию 14.10.2025

Подписана в печать 12.11.2025

Опубликована 26.12.2025

## Rationalization of diagnosis and prediction of traumatic brain injury outcomes by blood biomarkers

Anastasia S. Lysenko<sup>1</sup>, Nikolay M. Agarkov<sup>2,3</sup>✉, Tatyana I. Yakunchenko<sup>2,3</sup>,  
Sergey N. Gontarev<sup>2,3</sup>, Diana R. Shmarova<sup>3</sup>, Anastasia A. Shorokhova<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Kursk City Hospital No. 1 named after N. S. Korotkov  
40 Sadovaya Str., Kursk 305004, Russian Federation

<sup>2</sup> Belgorod State National Research University  
85 Pobedy str., Belgorod 308015, Russian Federation

<sup>3</sup> Southwest State University  
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: vitalaxen@mail.ru

### Abstract

**The purpose of the research** is rationalization of diagnosis and prediction of traumatic brain injury outcomes by blood biomarkers.

**Methods.** In 125 examined mature (45–59 years old) and elderly (60–74 years old) patients with mild and moderate TBI, blood counts were studied on the 12th day after receiving it. A general blood test was performed using an automatic analyzer on a GS480A device (China), and a biochemical blood test was performed on a THERMO FISHER SCIENTIFIC Konelab Prime 30 device (Pharma, Russia). Using a one-factor regression analysis of the studied 13 blood parameters, diagnostic and prognostic significance for 11 variables was revealed. To assess the quality of the predictive multivariate regression model, ROC analysis (Receiver Operator Characteristic) was used, and the area under the curve (AUC) was used to assess the discrimination of the model.

**Results.** In the multifactorial regression analysis in the uncorrected model, all 11 variables with the highest beta coefficient for blood levels of potassium, leukocytes, glucose, lymphocytes, and glucose-to-potassium ratio retained diagnostic and prognostic significance. At the same time, the gender- and age-adjusted multifactorial regression model included only 7 variables, and taking into account the most significant ones, a predictive model was developed:  $y = 7,561 + 2,652x_1 - 2,848x_2 + 2,458x_3 + 2,573x_4$ . The prognostic value of the created model showed that the AUC is 0,725 ( $p = 0,0012$ ) with a sensitivity of 62,875% and a specificity of 71,896%.

**Conclusion.** The created model is of sufficient quality and can be used to diagnose and predict adverse outcomes of traumatic brain injury.

**Keywords:** forecasting; rationalization of diagnosis; traumatic brain injury; regression analysis; blood counts.

**Conflict of interest:** The authors declares no conflict of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Lysenko A.S., Agarkov N.M., Yakunchenko T.I., Gontarev S.N., Shmarova D.R., Shorokhova A.A. Rationalization of diagnosis and prediction of traumatic brain injury outcomes by blood biomarkers. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoje priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2025;15(4):236–249. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-4-236-249>

Received 14.10.2025

Accepted 12.11.2025

Published 26.12.2025

\*\*\*

## Введение

Черепно-мозговая травма (ЧМТ) становится серьезной проблемой общественного здравоохранения из-за неуклонного роста ежегодного числа пострадавших, которое составляет около 50 млн человек. ЧМТ включает в себя разнородный набор функциональных, анатомических и гистологических изменений, вызванных воздействием внешних физических сил, оказывающих чрезмерное давление на мозг [1]. Это, в свою очередь, в конечном итоге приводит к апоптозу и некрозу нейронов или глиальных клеток, разрыву кровеносных сосудов, тромбозу, нарушению гематоэнцефалического барьера, переломам черепа и / или разрывам мозговых оболочек. Этот тип внезапного первичного повреждения при ЧМТ может проявляться в виде ряда патофизиологических характеристик, включая макроскопические очаговые или диффузные поражения, гематомы, кровоизлияния, ушибы головного мозга и / или диффузные повреждения аксонов, которые могут быть необратимыми [2]. Кроме того, отсроченное повреждение нейронов может быть вызвано вторичными нарушениями, связанными с несколькими молекулярными, биохимическими и нейровоспалительными процессами, которые могут длиться от нескольких минут до

нескольких месяцев после первого механического воздействия. Характер первичной или вторичной патологии зависит от механизма получения травмы, наличия сопутствующих травм и заболеваний, а также от эффективности лечения. Эти вышеупомянутые события обычно сопровождаются сильной локальной и / или системной иммунной активацией [3]. Таким образом, воздействие на определенные иммунологические пути может оказаться полезным для разработки будущих стратегий лечения ЧМТ.

Первичное повреждение головного мозга может включать в себя повреждение внутричерепных структур, объемные эффекты, а также дисрегуляцию нейронов, глии и / или сосудов головного мозга. Вторичное повреждение головного мозга, напротив, зависит от состояния активации нескольких взаимосвязанных патофизиологических путей. Популяции клеток, которые либо подвергаются апоптозу, либо испытывают значительные функциональные нарушения, определяются степенью активации этих сложных путей и процессов [4].

При ЧМТ могут активироваться различные метаболические и / или молекулярные каскады, что в конечном итоге приводит к повышению внутриклеточной концентрации кальция и натрия,

дисфункции митохондрий, выработке свободных радикалов, нарушению окислительного фосфорилирования, активации апоптоза, накоплению нейромедиаторов и увеличению расхода энергии.

Провоспалительные, противовоспалительные цитокины и хемокины могут выделяться нейронами, глиальными клетками и системными иммунными клетками, которые также могут играть важную роль во внутриклеточной передаче патологических сигналов [2]. Механические процессы, такие как объёмные травматические повреждения, могут вызывать отёк головного мозга, ишемию, повторные кровоизлияния, нарушение церебральной ауторегуляции, снижение церебрального перфузионного давления, повышение внутричерепного давления. Системные процессы могут приводить к различным состояниям, в т. ч. к снижению мозгового кровотока, нарушениям электролитного баланса, гипергликемии, гипогликемии, гипоксии, анемии, гипо- или гиперкапнии, нарушениям кислотно-щелочного баланса и судорогам [3].

Ранняя и точная диагностика ЧМТ по клиническим признакам, данным нейровизуализации представляют ценную диагностическую и прогностическую информацию, но не всегда выполняется из-за состояния больного и других причин [5]. Это побуждает специалистов и исследователей искать более доступные биомаркеры крови, позволяющие повысить точность диагностики и прогнозирования исходов у пациентов с ЧМТ [6]. К таким биомаркерам относятся показатели крови, но прогностическая ценность их остаётся противоречивой и недостаточно изученной и не

применялся многофакторный подход и многомерный регрессионный анализ к оценке прогностической значимости.

Цель исследования – рационализация диагностики и прогнозирования исходов ЧМТ по биомаркерам крови.

## Материалы и методы

Обследовано 125 пациентов зрелого (45–59 лет) и пожилого (60–74 лет) возраста с лёгкой и средней степенью тяжести ЧМТ на 12 сутки после её получения. Диагностика ЧМТ осуществлялась в соответствии с Клиническими рекомендациями «Очаговая травма головного мозга» [7] и по результатам компьютерной томографии.

Кроме того, при диагностике ЧМТ лёгкой и средней степени выполнялись общий и биохимический анализ крови. Общий анализ крови проводился автоматическим анализатором на аппарате GS480A (Китай), биохимический анализ крови – на аппарате THERMO FISHER SCIENTIFIC Konelab Prime 30 (ООО «Фарма», Россия). Из указанных лабораторных исследований проведена выкопировка таких показателей, как содержание в крови лейкоцитов, нейтрофилов, лимфоцитов, базофилов, эозинофилов, моноцитов, гемоглобина, эритроцитов, глюкозы, калия, натрия, креатинина и мочевой кислоты. Контрольная группа составила 108 пациентов зрелого и пожилого возраста без ЧМТ и с сопоставимой соматической патологией.

При статистическом анализе с применением программы Statistica 17.0 проведен однофакторный регрессионный анализ и переменные со значением  $p < 0,01$  были в дальнейшем включены в модель многофакторного регрессионного анализа

для определения независимых предикторов прогнозирования исходов ЧМТ. В качестве независимых переменных при выполнении однофакторного регрессионного анализа нами использовались показатели абсолютного содержания в крови: лейкоцитов, нейтрофилов, лимфоцитов, базофилов, эозинофилов, моноцитов, гемоглобина, эритроцитов, глюкозы, калия, натрия, креатинина и мочевой кислоты. Независимые переменные с ненулевыми коэффициентами были отобраны и впоследствии проанализированы с помощью многофакторного регрессионного анализа для выявления потенциальных прогностических факторов. В качестве зависимой переменной в данном случае нами рассматривался неблагоприятный исход ЧМТ – длительность заболевания более 4 месяцев. Для оценки качества прогностической многомерной регрессионной модели использовался ROC-анализ

(Receiver Operator Characteristic), а для оценки дискриминации модели использовалась площадь под кривой (AUC). Статистическая значимость установлена на  $p < 0,01$  для всех переменных.

### Результаты и их обсуждение

Оценка достоверности различий показателей крови в двух сравниваемых группах показала, что у пациентов получивших ЧМТ, статистически значимо выше содержание многих показателей. Сказанное относится к лейкоцитам, нейтрофилам, лимфоцитам, тромбоцитам, креатинину, мочевой кислоте и соотношению глюкозы к калию. При этом среди пациентов с ЧМТ более высоким оказалось содержание в крови лейкоцитов – в 1,58 раза, лимфоцитов – в 1,41 раза, тромбоцитов – в 1,35 раза и соотношение глюкозы к калию. Превышение других показателей среди ранее названных оказалось менее существенным.

**Таблица 1.** Содержание изученных показателей крови у пациентов с ЧМТ ( $M \pm SD$ )

**Table 1.** The content of the studied blood parameters in patients with TBI ( $M \pm SD$ )

Показатель крови	Пациенты без ЧМТ	Пациенты с ЧМТ	$p$
Лейкоциты, $10^9/\text{л}$	$5,62 \pm 1,08$	$8,86 \pm 2,49$	0,001
Нейтрофилы, $10^9/\text{л}$	$3,28 \pm 0,92$	$4,15 \pm 1,38$	0,0092
Эозинофилы, $10^9/\text{л}$	$0,13 \pm 0,06$	$0,16 \pm 0,19$	0,3862
Базофилы, $10^9/\text{л}$	$0,04 \pm 0,09$	$0,03 \pm 0,11$	0,5469
Лимфоциты, $10^9/\text{л}$	$1,85 \pm 0,24$	$2,61 \pm 0,38$	0,0015
Гемоглобин, $\text{г/л}$	$132,43 \pm 3,49$	$115,60 \pm 4,15$	0,0024
Эритроциты, $10^{12}/\text{л}$	$4,86 \pm 1,13$	$3,94 \pm 0,98$	0,0028
Тромбоциты, $10^9/\text{л}$	$218,62 \pm 5,79$	$295,17 \pm 6,45$	0,0019
Креатинин, $\text{мкмоль/л}$	$60,23 \pm 2,85$	$69,48 \pm 3,07$	0,0038
Мочевая кислота, $\text{мкмоль/л}$	$334,81 \pm 8,24$	$372,35 \pm 10,25$	0,0025
Глюкоза, $\text{г/л}$	$5,42 \pm 0,79$	$4,08 \pm 0,52$	0,0014
Калий, $\text{мкмоль/л}$	$3,68 \pm 0,63$	$1,93 \pm 0,21$	0,0012
Соотношение глюкозы к калию	$1,47 \pm 0,19$	$2,11 \pm 0,45$	0,0022

Наряду с этим среди пациентов, получивших ЧМТ, статистически значимо было ниже содержание эритроцитов, гемоглобина, глюкозы и калия. Максимально низкий уровень среди данных параметров крови установлен для содержания калия.

**Таблица 2.** Нескорректированные модели по данным многофакторного регрессионного анализа показателей крови

**Table 2.** Unadjusted models based on multivariate regression analysis of blood parameters

Показатель крови	Величина коэффициента $\beta$	95%-ной доверительный интервал	p
Лейкоциты	2,937	2,714–3,265	0,0025
Нейтрофилы	2,548	2,441–2,809	0,0019
Лимфоциты	2,842	2,578–3,114	0,0008
Гемоглобин	–1,104	0,815–1,267	0,0136
Эритроциты	–2,158	1,902–2,436	0,0037
Тромбоциты	2,105	1,854–2,312	0,0041
Креатинин	1,141	0,918–1,246	0,0028
Мочевая кислота	1,033	0,848–1,124	0,0034
Глюкоза	–2,775	2,502–3,151	0,0019
Калий	–3,361	3,127–3,628	0,0021
Соотношение глюкозы к калию	2,819	2,603–3,154	0,0038
Константа	9,485	–	–

Все использованные показатели крови в многофакторном регрессионном анализе сохранили статистическую значимость и свидетельствуют о наибольшем значении для прогнозирования исходов ЧМТ содержания ионов калия, лейкоцитов, лимфоцитов и глюкозы.

Корректировка показателей крови по полу и возрасту и обработка их многофакторным регрессионным анализом позволила получить скорректированные модели (табл. 3), в которых величины коэффициентов  $\beta$  многофакторной

Показатели крови со статистически значимым различием в дальнейшем включены в многофакторный регрессионный анализ, позволивший разработать нескорректированные модели (табл. 2).

регрессии для многих переменных уменьшились, а некоторые утратили статистическую значимость. В скорректированных по полу и возрасту многофакторных регрессионных моделях снизились величины коэффициентов  $\beta$  для лейкоцитов, нейтрофилов, лимфоцитов, глюкозы, калия, соотношения глюкозы к калию. Одновременно такие переменные, как гемоглобин, мочевая кислота, креатинин, утратили статистическую значимость и не вошли в скорректированные многофакторные модели.

**Таблица 3.** Скорректированные по полу и возрасту многофакторные регрессионные модели**Table 3.** Gender and age-adjusted multifactorial regression models

Показатель крови	Величина коэффициента $\beta$	95%-ный доверительный интервал	p
Лейкоциты	2,485	2,123–2,536	0,0031
Нейтрофилы	2,104	1,844–2,351	0,0045
Лимфоциты	2,573	2,238–2,795	0,0062
Гемоглобин	–0,782	0,465–0,827	0,0434
Эритроциты	–1,647	1,396–1,853	0,0028
Тромбоциты	1,548	1,327–1,795	0,0019
Креатинин	0,725	0,453–0,869	0,0679
Мочевая кислота	0,609	0,365–0,822	0,0628
Глюкоза	–2,312	2,109–2,675	0,0022
Калий	–2,884	2,647–3,091	0,0035
Соотношение глюкозы к калию	2,652	2,455–2,893	0,0019
Константа	7,561	–	–

Разработанная с учётом наиболее информативных переменных скорректированная многофакторная регрессионная модель для прогнозирования неблагоприятных исходов ЧМТ имеет следующий вид:

$$y = 7,561 + 2,652x_1 - 2,848x_2 + 2,458x_3 + 2,573x_4,$$

где  $y$  – неблагоприятный прогноз ЧМТ;  $x_1$  – соотношение глюкозы к калию в крови;  $x_2$  – содержание калия в крови;  $x_3$  – содержание лейкоцитов в крови;  $x_4$  – содержание лимфоцитов в крови.

Прогностическая ценность созданной модели показала, что AUC составляет 0,725 ( $p = 0,0012$ ) с чувствительностью 62,875%, специфичностью 71,896%. Это указывает на приемлемое качество созданной прогностической модели и возможность её использования в клинической практике.

Клинические исследования и эксперименты показали, что показатели воспаления после ЧМТ, такие как соотношение нейтрофилов к лимфоцитам (NLR) и соотношение тромбоцитов к лимфоцитам (PLR), играют важную роль в прогнозировании клинических исходов нейротравматических заболеваний [8]. Например, исследование, основанное на 688 случаях тяжёлой черепно-мозговой травмы, показало, что у 508 пациентов (73,8%) через год после травмы прогноз был неблагоприятным [9]. Значение NLR в группе с неблагоприятным прогнозом при поступлении было значительно выше, чем в группе с благоприятным прогнозом [10]. Многофакторный логистический анализ показал, что более высокий показатель NLR коррелирует с неблагоприятным исходом [11]. Значение NLR у пациентов при поступлении повышало вероятность неблагоприят-

ного прогноза, функционального исхода и смертности у пациентов с тяжёлой черепно-мозговой травмой в течение 1 года [12]. NLR может служить легкодоступным клиническим маркером для прогнозирования исхода у пациентов с тяжёлой ЧМТ, а высокий показатель NLR при поступлении связан с неблагоприятным прогнозом у пациентов с неврологическими нарушениями [13]. Как ни парадоксально, одноцентровое исследование с участием 255 пациентов показало, что стандартные анализы крови, в т. ч. NLR, проведённые при поступлении, не являются значимыми предикторами исхода лёгкой черепно-мозговой травмы [14].

Нами также подтверждён данный факт о повышенном содержании нейтрофилов в крови после ЧМТ, но их увеличение было меньше, чем сообщалось в работе [15]. Однако нейтрофилы, по данным другого исследования [16], не вошли в число прогностических факторов, влияющих на исход ЧМТ.

Установлено также, что после ЧМТ из-за повреждения паренхимы головного мозга в системный кровоток высвобождается в большом количестве тканевой тромбопластин, активирующий внешний каскад свёртывания, повреждённый эндотелий напрямую активирует тромбоциты и внутренний каскад свёртывания, а активация плазмина приводит к фибринолизу. Повышение RDW после черепно-мозговой травмы, вероятно, связано с увеличением количества цитокинов, таких как фактор некроза

опухоли альфа (TNF- $\alpha$ ), интерлейкин 1 $\beta$  (IL-1 $\beta$ ) и IL-6, которые препятствуют созреванию эритроцитов, вызванному эритропоэтином, и ускоряют высвобождение более крупных ретикулоцитов [17], хотя с помощью позитронно-эмиссионной томографии и церебрального микродиализа было доказано, что метаболизм лактата в головном мозге изменяется после ЧМТ [18]. Гиперлактатемия в сыворотке крови после ЧМТ отражает степень гипоперфузии и гипоксии тканей, а также функцию печени и почек, тем самым являясь косвенным показателем тяжести травмы [19]. Однако в отношении прогностической значимости тромбоцитов крови имеются противоречивые данные. Так, нами выявлен повышенный уровень тромбоцитов у пациентов с ЧМТ относительно пациентов без ЧМТ с достоверным различием в 1,35 раза.

В то же время в исследовании K. M. Rei, J. Siddiqi [20] показано, что содержание тромбоцитов при неблагоприятном исходе ЧМТ ниже. Кроме того, эти авторы сообщают об отсутствии значимого влияния содержания тромбоцитов в крови на исход ЧМТ, поскольку в многомерном регрессионном анализе влияние тромбоцитов оказалось незначимым и авторы объясняют это различными причинами. Во-первых, поскольку это одноцентровое ретроспективное исследование, оно может быть необъективным. Во-вторых, это исследование, скорее всего, не обладало достаточной мощностью для внутренней

проверки усовершенствованных моделей и количественной оценки степени улучшения дискриминации. Однако из-за недостатка литературы по корректировке биомаркеров для проверенных моделей предварительный расчёт мощности был невозможен. В-третьих, точное время, прошедшее с момента получения травмы до измерения биомаркеров, неизвестно, что вносит определённую неоднородность. Однако все показатели биомаркеров были получены в течение 24 часов после травмы. В-четвёртых, как и в случае с прогностической моделью, в этот анализ были включены пациенты с множественными эпидуральными кровоизлияниями. Однако анализ чувствительности показал, что только один биомаркер стал незначимым после поправки на множественные эпидуральные кровоизлияния ( $p = 0,051$ ). В-пятых, как и в случае с прогностической моделью, у 19% пациентов время наблюдения было сокращено. Однако пациенты с множественными эпидуральными кровоизлияниями и сокращённым временем наблюдения были исключены. Для подтверждения эффективности прогностической модели с использованием вышеуказанных биомаркеров необходимы масштабные проспективные исследования.

Вместе с тем, как нами, так и другими специалистами [16], установлено достоверное влияние содержания калия в крови на исход ЧМТ. Согласно публикации [16], относительный риск снижения содержания калия в крови в

неблагоприятном исходе ЧМТ в многомерном анализе составляет 1,884 (95% – доверительный интервал: 1,222–2,904;  $p = 0,004$ ), а в одномерном анализе – 2,428 (95% – доверительный интервал: 1,800–3,275;  $p = 0,001$ ). Кроме того, многофакторный логистический регрессионный анализ показал, что возраст, систолическое артериальное давление (САД), размер зрачка, субарахноидальное кровоизлияние (САК), SII, PLR, концентрация калия в сыворотке крови  $[K^+]$ , концентрация кальция в сыворотке крови  $[Ca^{2+}]$ , международное нормализованное отношение (МНО), С-реактивный белок (CRP) и индекс сопутствующего системного иммунного воспаления в сочетании с диоксидом углерода ( $coSII-CO_2$ ) ( $P < 0,001$ ) были независимыми прогностическими факторами для ГСН у пациентов с тяжелой ЧМТ.

## Выводы

Для диагностики и прогнозирования неблагоприятных исходов ЧМТ предлагается использовать созданную многофакторным регрессионным анализом скорректированную по полу и возрасту модель:

$$y = 7,561 + 2,652x_1 - 2,848x_2 + 2,458x_3 + 2,573x_4,$$

обеспечивающую точность прогнозирования до 0,725 с чувствительностью 62,875% и специфичностью 71,896%. Достоверными предикторами неблагоприятных исходов ЧМТ среди показателей крови являются повышение содержания лейкоцитов до 8,86, 10<sup>9</sup>/л и более,

нейтрофилов до  $4,15, 10^9/\text{л}$  и более, лимфоцитов до  $2,61, 10^9/\text{л}$  и более, тромбоцитов до  $295,17, 10^9/\text{л}$  и более, соотношение глюкозы к калию до  $2,11$  и более, снижение содержания в крови эритроцитов до  $3,94, 10^{12}/\text{л}$  и менее, глюкозы до

$4,08 \text{ г/л}$  и менее, калия до  $1,93 \text{ мкмоль/л}$  и менее.

Перспективами дальнейших исследований являются применение алгоритмов машинного обучения для совершенствования прогнозирования исходов ЧМТ.

### Список литературы

1. Capizzi A., Woo J., Verduzco-Gutierrez M. Traumatic brain injury // Med. Clin. North. Am. 2020. N 104. P. 213–238. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2019.11.001>
2. Neuroinflammation and blood-brain barrier disruption following traumatic brain injury: Pathophysiology and potential therapeutic targets / S. Sulhan, K. A. Lyon, L. A. Shapiro, J. H. Huang // J. Neurosci. Res. 2020. N 98. P. 19–28. <https://doi.org/10.1002/jnr.24331>
3. Kempuraj D., Selvakumar G. P., Ahmed M. E., et al. COVID-19, Mast Cells, Cytokine Storm, Psychological Stress, and Neuroinflammation // Neuroscientist. 2020. N 26. P. 402–414. <https://doi.org/10.1177/1073858420941476>
4. Systematic Review of Serum Biomarkers in Traumatic Brain Injury / K. Mozaffari, D. Dejam, C. Duong [et al.] // Cureus. 2021. N 13. P. e17056. <https://doi.org/10.7759/cureus.17056>
5. An update on diagnostic and prognostic biomarkers for traumatic brain injury / K. K. Wang, Z. Yang, T. Zhu [et al.] // Expert Rev Mol Diagn. 2018. N 18. P. 165–180. <https://doi.org/10.1080/14737159.2018.1428089>
6. Inflammation biomarkers IL 6 and IL 10 may improve the diagnostic and prognostic accuracy of currently authorized traumatic brain injury tools / C. Tsitsipanis, M. Miliaraki, E. Paflioti [et al.] // Exp Ther Med. 2023. N 26. P. 364. <https://doi.org/10.3892/etm.2023.12063>
7. Клинические рекомендации «Очаговая травма головного мозга» / А. А. Потапов, Б. В. Крылов, С. С. Петриков [et al.]. М.: Ассоциация нейрохирургов России, 2024. 82 с.
8. Circulating neutrophil-to-lymphocyte ratio at admission predicts the long-term outcome in acute traumatic cervical spinal cord injury patients / J. L. Zhao, S. T. Lai, Z. Y. Du [et al.] // BMC Musculoskelet Disord. 2020. N 21. P. 548. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03556-z>
9. Neutrophil-to-Lymphocyte ratio is an independent predictor of 30-day mortality of intracerebral hemorrhage patients: A validation cohort study / F. Wang, L. Wang, T. T. Jiang [et al.] // Neurotox Res. 2018. Vol. 34, N 3. P. 347–352. <https://doi.org/10.1007/s12640-018-9890-6>
10. Peak neutrophil-to-Lymphocyte ratio correlates with clinical outcomes in patients with severe traumatic brain injury / J. Chen, X. Qu, Z. Li [et al.] // Neurocrit Care. 2019. Vol. 30, N 2. P. 334–339. <https://doi.org/10.1007/s12028-018-0622-9>

11. Neutrophil-to-Lymphocyte ratio predicts the outcome of acute intracerebral hemorrhage / S. Lattanzi, C. Cagnetti, L. Provinciali [et al.] // *Stroke*. 2016. Vol. 47, N 6. P. 1654–1657. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.116.013627>
12. The Neutrophil/Lymphocyte Count Ratio Predicts Mortality in Severe Traumatic Brain Injury Patients / D. Siwicka-Gieroba, K. Malodobry, J. Biernawska [et al.] // *J. Clin. Med.* 2019. N 8. P. 1453. <https://doi.org/10.3390/jcm8091453>
13. Neutrophil to Lymphocyte Ratio as a Novel Predictor of Outcome in Patients With Severe Traumatic Brain Injury / W. Chen, J. Yang, B. Li [et al.] // *J. Head Trauma Rehabil.* 2018. N 33. P. E53–E59. <https://doi.org/10.1097/HTR.0000000000000320>
14. Routine Blood Tests for Severe Traumatic Brain Injury: Can They Predict Outcomes? / R. G. F. Dolmans, A. F. C. Hulsbergen, W. B. Gormley, M. L. D. Broekman // *World Neurosurg.* 2020. N 136. P. e60–e67. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.10.086>
15. Alam A., Thelin E.P., Tajsic T., et al. Cellular infiltration in traumatic brain injury // *J. Neuroinflammation*. 2020. N 17. P. 328. <https://doi.org/10.1186/s12974-020-02005-x>
16. Systemic immune inflammation index and peripheral blood carbon dioxide concentration at admission predict poor prognosis in patients with severe traumatic brain injury / L. Chen, S. Xia, Y. Zuo [et al.] // *Front Immunol.* 2023. N 12. P. 1034916. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1034916>
17. A Prognostic Model Incorporating Red Cell Distribution Width to Platelet Ratio for Patients with Traumatic Brain Injury / R. Wang, M. He, J. Zhang [et al.] // *Ther Clin Risk Manag.* 2021. N 17. P. 1239–1248. <https://doi.org/10.2147/TCRM.S337040>
18. Cerebral Lactate Metabolism After Traumatic Brain Injury / C. Patet, T. Suys, L. Carteron [et al.] // *Curr Neurol Neurosci Rep.* 2016. Vol. 16, N 4. P. 31. <https://doi.org/10.1007/s11910-016-0638-5>
19. Lactate/Albumin Ratio Is Associated With Mortality in Patients With Moderate to Severe Traumatic Brain Injury / R. Wang, M. He, F. Qu [et al.] // *Front Neurol.* 2022. N 13. P. 662385. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.662385>
20. Rei K. M., Siddiqi J. Novel Hematologic Inflammatory Biomarker Ratios Derived From Routinely Ordered Labs Upon Admission: Enhancement of the International Mission for Prognosis and Analysis of Clinical Trials Prognostic Model for Moderate-to-Severe Traumatic Brain Injury // *Cureus*. 2025. N 17. P. e92601. <https://doi.org/10.7759/cureus.92601>

## References

1. Capizzi A., Woo J., Verduzco-Gutierrez M. Traumatic brain injury. *Med. Clin. North. Am.* 2020;(104):213–238. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2019.11.001>
2. Sulhan S., Lyon K.A., Shapiro L.A., Huang J.H. Neuroinflammation and blood-brain barrier disruption following traumatic brain injury: Pathophysiology and potential therapeutic targets. *J. Neurosci. Res.* 2020;98:19–28. <https://doi.org/10.1002/jnr.24331>
3. Kempuraj D., Selvakumar G.P., Ahmed M.E., et al. COVID-19, Mast Cells, Cytokine Storm, Psychological Stress, and Neuroinflammation. *Neuroscientist.* 2020;(26):402–414. <https://doi.org/10.1177/1073858420941476>

4. Mozaffari K., Dejam D., Duong C., et al. Systematic Review of Serum Biomarkers in Traumatic Brain Injury. *Cureus*. 2021;(13):e17056. <https://doi.org/10.7759/cureus.17056>
5. Wang K.K., Yang Z., Zhu T., et al. An update on diagnostic and prognostic biomarkers for traumatic brain injury. *Expert Rev Mol Diagn*. 2018;(18):165–180. <https://doi.org/10.1080/14737159.2018.1428089>
6. Tsitsipanis C., Miliaraki M., Paflioti E., et al. Inflammation biomarkers IL 6 and IL 10 may improve the diagnostic and prognostic accuracy of currently authorized traumatic brain injury tools. *Exp Ther Med*. 2023;(26):364. <https://doi.org/10.3892/etm.2023.12063>
7. Potapov A.A., Krylov V.V., Petrikov S.S., et al. Clinical recommendations "Focal brain injury". Moscow: Assotsiatsiya neirokhirurgov Rossii, 2024. 82 p. (In Russ.)
8. Zhao J.L., Lai S.T., Du Z.Y., et al. Circulating neutrophil-to-lymphocyte ratio at admission predicts the long-term outcome in acute traumatic cervical spinal cord injury patients. *BMC Musculoskelet Disord*. 2020;(21):548. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03556-z>
9. Wang F., Wang L., Jiang T.T., et al. Neutrophil-to-Lymphocyte ratio is an independent predictor of 30-day mortality of intracerebral hemorrhage patients: A validation cohort study. *Neurotox Res*. 2018;34(3):347–352. <https://doi.org/10.1007/s12640-018-9890-6>
10. Chen J., Qu X., Li Z., et al. Peak neutrophil-to-Lymphocyte ratio correlates with clinical outcomes in patients with severe traumatic brain injury. *Neurocrit Care*. 2019;30(2):334–339. <https://doi.org/10.1007/s12028-018-0622-9>
11. Lattanzi S., Cagnetti C., Provinciali L., et al. Neutrophil-to-Lymphocyte ratio predicts the outcome of acute intracerebral hemorrhage. *Stroke*. 2016;47(6):1654–1657. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.116.013627>
12. Siwicka-Gieroba D., Malodobry K., Biernawska J., et al. The Neutrophil/Lymphocyte Count Ratio Predicts Mortality in Severe Traumatic Brain Injury Patients. *J. Clin. Med*. 2019;(8):1453. <https://doi.org/10.3390/jcm8091453>
13. Chen W., Yang J., Li B., et al. Neutrophil to Lymphocyte Ratio as a Novel Predictor of Outcome in Patients With Severe Traumatic Brain Injury. *J. Head Trauma Rehabil*. 2018;(33):E53–E59. <https://doi.org/10.1097/HTR.0000000000000320>
14. Dolmans R.G.F., Hulsbergen A.F.C., Gormley W.B., Broekman M.L.D. Routine Blood Tests for Severe Traumatic Brain Injury: Can They Predict Outcomes? *World Neurosurg*. 2020;136:e60–e67. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.10.086>
15. Alam A., Thelin E.P., Tajsic T., et al. Cellular infiltration in traumatic brain injury. *J. Neuroinflammation*. 2020;(17):328. <https://doi.org/10.1186/s12974-020-02005-x>
16. Chen L., Xia S., Zuo Y., et al. Systemic immune inflammation index and peripheral blood carbon dioxide concentration at admission predict poor prognosis in patients with severe traumatic brain injury. *Front Immunol*. 2023;(12):1034916. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1034916>
17. Wang R., He M., Zhang J., et al. A Prognostic Model Incorporating Red Cell Distribution Width to Platelet Ratio for Patients with Traumatic Brain Injury. *Ther Clin Risk Manag*. 2021;(17):1239–1248. <https://doi.org/10.2147/TCRM.S337040>
18. Patet C., Suys T., Carteron L., et al. Cerebral Lactate Metabolism After Traumatic Brain Injury. *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2016;16(4):31. <https://doi.org/10.1007/s11910-016-0638-5>

19. Wang R., He M., Qu F., et al. Lactate Albumin Ratio is Associated With Mortality in Patients With Moderate to Severe Traumatic Brain Injury. *Front Neurol.* 2022;(13):662385. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.662385>

20. Rei K.M., Siddiqi J. Novel Hematologic Inflammatory Biomarker Ratios Derived From Routinely Ordered Labs Upon Admission: Enhancement of the International Mission for Prognosis and Analysis of Clinical Trials Prognostic Model for Moderate-to-Severe Traumatic Brain Injury. *Cureus.* 2025;(17):e92601. <https://doi.org/10.7759/cureus.92601>

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Лысенко Анастасия Сергеевна**,  
врач-невролог, Курская городская больница  
№ 1 имени Н. С. Короткова,  
г. Курск, Российская Федерация,  
e-mail: anastasiya-lysenko-96@mail.ru,  
ORCID: 0009-0001-6521-2130

**Anastasia S. Lysenko**, Neurologist, Kursk City Hospital No. 1 named after N. S. Korotkov, Kursk, Russian Federation, e-mail: anastasiya-lysenko-96@mail.ru, ORCID: 0009-0001-6521-2130

**Агарков Николай Михайлович**, профессор кафедры пропедевтики внутренних болезней и клинических информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород; доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: vitalaxen@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4821-3692

**Nikolay M. Agarkov**, Professor at the Department of Propaedeutics of Internal Diseases and Clinical Information Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod; Doctor of Sciences (Medical), Professor, Professor at the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: vitalaxen@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4821-3692

**Якунченко Татьяна Игоревна**, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой пропедевтики внутренних болезней и клинических информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Российская Федерация; ведущий научный сотрудник кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: yakunchenko@bsuedu.ru, ORCID: 0000-0002-4031-6267

**Tatyana I. Yakunchenko**, Doctor of Sciences (Medical), Professor, Head of the Department of Propaedeutics of Internal Diseases and Clinical Information Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod; Leading Researcher at the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: yakunchenko@bsuedu.ru, ORCID: 0000-0002-4031-6267

**Гонтарев Сергей Николаевич**, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой детской стоматологии, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород; ведущий научный сотрудник кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: znamisng@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5607-5747

**Шмарова Диана Руслановна**, студент кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация e-mail: shmarova.diana@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3436-4059

**Шорохова Анастасия Алексеевна**, студент кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: shorohova20015@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3436-4059

**Sergey N. Gontarev**, Doctor of Sciences (Medical), Professor, Head of the Department of Pediatric Dentistry, Belgorod State National Research University, Belgorod; Leading Researcher at the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: znamisng@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5607-5747

**Diana R. Shmarova**, Student at the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: shmarova.diana@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3436-4059

**Anastasia A. Shorokhova**, Student at the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: shorohova20015@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3436-4059