

УДК 6112-06:612.126

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИСХОДА ТЕРМИЧЕСКОЙ ТРАВМЫ ПО ДИНАМИКЕ СООТНОШЕНИЯ НАТРИЙ/КАЛИЙ КРОВИ

© 2024 г. А. В. Алехнович^{1, 2, 3, *}, А. В. Лазарев¹, С. Л. Ведерникова¹,
М. Р. Исмагилов¹, П. С. Маркевич¹

¹ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий
имени А.А. Вишневого, Красногорск, Россия

²ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы”, Москва, Россия

³ФГБОУ ДПО Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Минздрава РФ,
Москва, Россия

*E-mail: vmnauka@mail.ru

Поступила в редакцию 29.02.2024 г.

После доработки 15.06.24 г.

Принята к публикации 01.07.2024 г.

С целью определения прогностического значения динамики соотношения натрия/калий крови в критических состояниях при термической травме ретроспективно изучали концентрацию электролитов у 107 пациентов комбустиологического профиля, 64 с летальным исходом, 43 — благоприятный исход. Установлено, что увеличение соотношения натрия/калий крови выше 39 в динамике указывает на возможность летального исхода пациента с термической травмой в ближайшие 7—10 суток.

Ключевые слова: прогнозирование неблагоприятного исхода, термическая травма, соотношение натрия/калий крови, критические состояния, реанимация.

DOI: 10.31857/S0131164624050114 EDN: ANVINС

Прогнозирование исхода критических состояний в отделениях реанимации и интенсивной терапии является одним из наиболее сложных и актуальных вопросов. Своевременный прогноз течения болезни и эффективности лечения пациента реанимационного профиля является дихотомической оценкой определенных признаков в каждом конкретном случае. Результатом такой оценки является суждение о благоприятном или неблагоприятном исходе лечебного процесса и сроках его ожидания. Прогнозирование всегда носит вероятностный характер, однако от его точности во многом зависят тактика ведения больного и методы лечения. Прогноз особенно важен при решении организационных вопросов оказания медицинской помощи, в том числе при проведении сортировки пострадавших при их массовом поступлении. Прогностическая модель должна быть простой и эффективной. История прогнозирования исхода термической травмы насчитывает более 120 лет. В 1902 г. *S. Wiedenfeld* впервые предложил для прогноза развития ожоговой травмы использовать два фактора, а именно площадь ожоговой поверхности и возраст пострадавшего [1, 2]. Начиная с 1949 г. вопросам прогнозирования исхода термической

травмы было посвящено значительное количество работ, авторы которых исследовали от 5 до 80 различных факторов. Увеличение их количества не привело к значимому повышению точности прогноза [3]. Поиск новых эффективных и простых прогностических моделей исхода термической травмы, разработка методов прогнозирования при различных вариантах экстремальных состояний человека определяют актуальность этой проблемы для клинической медицины.

Концентрация ионов в плазме крови, жидкостях внутренней среды имеет значение для выполнения различных функций организма. Недавно было установлено, что существенна не только абсолютная концентрация ионов натрия, калия, трансмембранный градиент их концентраций во внеклеточной и внутриклеточной жидкости, но и соотношение между этими катионами в плазме крови. Более того, оказалось, что соотношение натрия/калий крови увеличивается при тяжелых формах COVID-19 [4]. Эти результаты показали актуальность изучения соотношения натрия/калий крови при других формах патологии, особенно при критических состояниях. Представляет интерес поиск возможности использования этого

показателя для прогноза течения болезни и критерия принятия решения по своевременному изменению лечебной тактики.

Исследование динамики соотношения натрия/калий крови у пациентов с термической травмой явилось задачей настоящего исследования.

Цель работы — оценить значение динамики соотношения натрия/калий крови для прогноза неблагоприятного исхода при термической травме.

МЕТОДИКА

Концентрацию Na^+ и K^+ в плазме крови определяли ежедневно у всех пациентов. Определение концентрации электролитов проводили до любых лечебных мероприятий, в том числе заместительной почечной терапии или введения больших объемов солевых растворов. Основная группа пациентов — с неблагоприятным (летальным) исходом составила 64 чел., контрольная — с благоприятным исходом (выжили) включала 43 пациента с ожоговой травмой.

Распределение пациентов по группам проводили ретроспективно, после определившегося исхода. Использованы данные ретроспективного анализа определения концентрации электролитов за 20 сут до определившегося исхода — благоприятного или неблагоприятного, где 0 сут соответствуют определившемуся исходу, а именно переведен с

улучшением/выписан или умер. Сбор результатов и последующий анализ ежедневного определения концентрации натрия и калия крови проводили за период 20 сут до исхода термической травмы.

Регрессионный анализ выполняли с помощью актуального пакета прикладных программ *Statistica* (*TIBCO*, США).

Концентрацию электролитов определяли потенциометрическим методом при помощи анализатора кислотно-щелочного и газового состава крови *ABL800FLEX* (*Radiometer Medical ApS*, Дания). Распределение пациентов по группам представлено в табл. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Из данных, представленных в табл. 2, следует, что за период мониторинга концентрация калия плазмы крови у пациентов с неблагоприятным исходом термической травмы за 20 сут ретроспективного анализа от момента развития критического события имела тенденцию к росту на 8.7%.

В группе с благоприятным исходом наблюдалась тенденция к снижению показателя на 4.4% по сравнению с начальным периодом (рис. 1, А). Средние значения концентрации калия в обеих группах находились в пределах физиологической нормы весь период мониторинга.

Таблица 1. Распределение пациентов в зависимости от общей площади термического поражения кожи

Площадь ожога, % поверхности тела	Количество наблюдений, $n = 107$	
	основная группа (летальный исход), $n = 64$	контрольная группа (благоприятный исход), $n = 43$
20–29	2	15
30–39	5	14
40–49	18	8
50–59	7	3
60–69	10	2
70–79	12	1
80–89	8	0
90 и выше	2	0

Таблица 2. Концентрация калия плазмы крови у пациентов с термической травмой

Группа	Норма	–20 сут	0 сут	$\pm D$, %
Основная (летальный исход)	3,8–5,5	$3,89 \pm 1,1$	$4,22 \pm 1,1$	+8,7
Контрольная (благоприятный исход)	3,8–5,5	$4,23 \pm 1,2$	$4,05 \pm 1,3$	–4,4

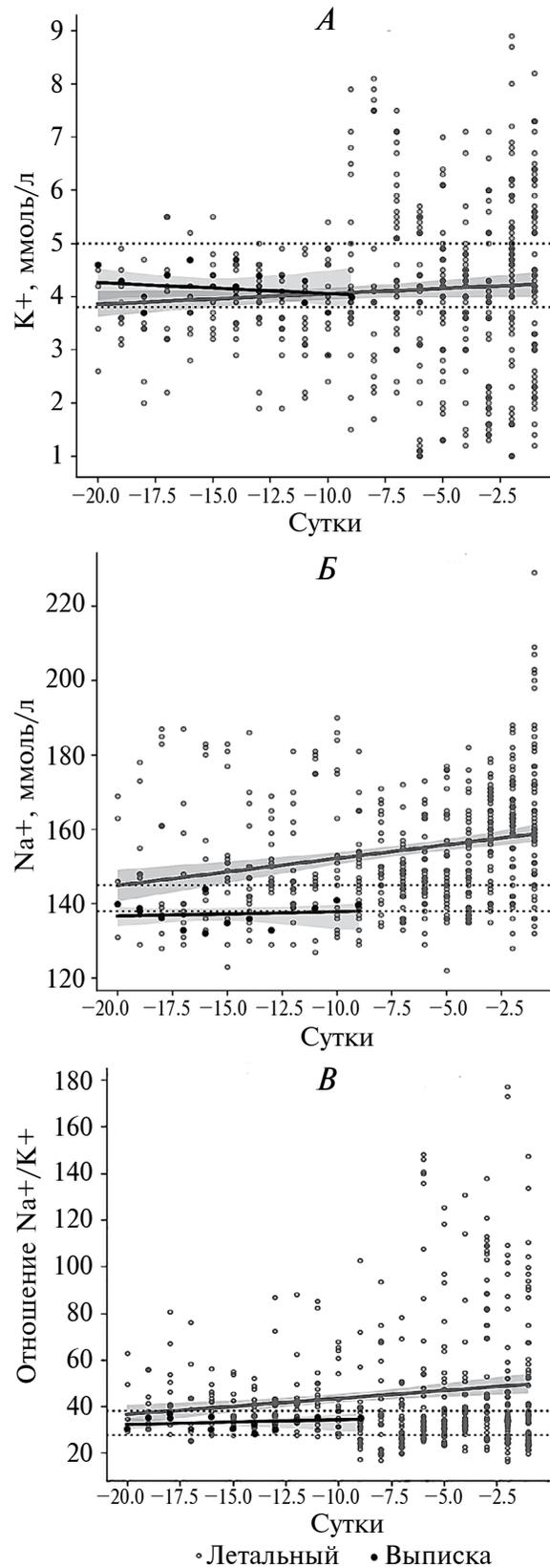


Рис. 1. Динамика и индивидуальные значения концентрации электролитов и их соотношения в плазме крови за период 20 сут до определившегося исхода. А – калий; Б – натрий; В – соотношение натрий/калий.

Мода показателя концентрации калия плазмы крови в основной группе, к моменту развития летального исхода, в среднем составила 3.78 ммоль/л, что на 13% ниже относительно аналогичного показателя в группе выживших (4.27 ммоль/л.). Обращает внимание высокая неоднородность распределения индивидуальных значений концентраций калия относительно моды и среднего значения у пациентов с неблагоприятным исходом, которая нарастает и особенно выражена за 7–10 сут до развития летального исхода.

Концентрация калия при термической травме часто находится в границах физиологической нормы. В случае превышения или понижения индивидуальных значений показателя, в соответствии с клиническими рекомендациями, медицинским персоналом проводятся мероприятия по ее (концентрации) коррекции – введение растворов, содержащих калий или его удаление с помощью технологий заместительной почечной терапии.

Содержание натрия в плазме крови характеризовалось более выраженными изменениями (табл. 3). Концентрация натрия в основной группе за период ретроспективного анализа увеличилась на 8.4%, часто соответствовала верхним значениям нормы или превышала их на 8.5%.

В контрольной группе увеличение концентрации натрия в плазме крови составило в среднем на 2.7% (рис. 1, Б). Вместе с тем, средние значения показателя близки к нижней границе физиологической нормы или соответствуют ей.

К моменту развития неблагоприятного исхода мода показателя концентрации натрия в основной группе составила 139 ммоль/л, что на 9.3% выше, чем в контрольной, – 152 ммоль/л. Высокая неоднородность распределения индивидуальных значений концентраций натрия плазмы крови

относительно моды и среднего значения показателя наиболее характерна в основной группе.

Повышение концентрации натрия в плазме крови и, собственно, гипернатриемия, в настоящее время рассматривают как неблагоприятный фактор, ухудшающий прогноз выживаемости пациентов в отделениях реанимации и интенсивной терапии [5]. При термической травме гипернатриемия традиционно объясняется потерей значительных объемов жидкости, в том числе через раневую поверхность, а также нарушениями функции почек. Как правило, принимаются необходимые меры для устранения гипернатриемии. В основном такие мероприятия направлены на восполнение потери жидкости [5]. Следует отметить, что общепринятой методики расчета риска неблагоприятного исхода при термической травме и других критических состояниях, связанных с уровнем гипернатриемии, в доступной литературе не найдено.

При анализе историй болезней пациентов с летальным исходом вследствие перенесенной новой коронавирусной инфекции COVID-19 было установлено высокое прогностическое значение развития неблагоприятного исхода при увеличении соотношения натрий/калий крови. В связи с этим мы провели расчет соотношения натрий/калий крови у пациентов с ожоговой травмой (табл. 4).

Соотношение концентрации натрия и калия плазмы крови у пациентов основной группы увеличилось на 36.1%, что в 5.6 раза превышает аналогичный показатель контрольной – 6.5% (рис. 1, В).

Следует обратить внимание, что превышение показателя соотношения натрий/калий крови более 39 может стать прогностическим критерием развития неблагоприятного исхода. Данный вопрос требует дополнительного изучения на более значительном количестве наблюдений.

Таблица 3. Концентрация натрия плазмы крови у пациентов с термической травмой

Группа	Норма	–20 сут	0 сут	±D, %
Основная (летальный исход)	138–145	145,1± 10,6	157,4± 8,1	+8,4
Контрольная (благоприятный исход)	138–145	137,8± 7,1	141,5± 9,4	+2,7

Таблица 4. Соотношение концентраций натрия и калия в плазме крови у пациентов с термической травмой

Группа	Норма	–20 сут	0 сут	±D, %
Основная (летальный исход)	–	36± 14	49± 7	+36,1
Контрольная (благоприятный исход)	–	32± 2	34± 3	+6,5

Неравномерность распределения персонифицированных значений показателя особенно возрастает за 5–7 сут до неблагоприятного исхода. При этом отдельные значения показателя соотношения натрий/калий крови могут находиться в интервале от 20 до 180, но более чем в 50% наблюдений превышают уровень 40.

Необходимо отметить, что при благоприятном исходе термической травмы индивидуальное значение показателя соотношения натрий/калий крови не превышает 38. Выраженная неравномерность распределения индивидуальных значений показателя может быть объяснена, в том числе, проведением интенсивной инфузионной терапии и методов заместительной почечной терапии в критическом состоянии при развитии полиорганной недостаточности, что в ряде случаев оказывает несомненное влияние на результаты лабораторных исследований. Вместе с тем обнаруженная тенденция к росту соотношения натрий/калий крови при угрозе неблагоприятного исхода у пациента с ожоговой болезнью представляет большой интерес для клиницистов.

Проблема прогноза исхода у пациента в критическом состоянии, в том числе при термических поражениях, остается наиболее важной и требующей решения. В частности, предлагается использовать возможности биокристалломики – изучения процессов кристаллизации слюны для диагностики осложнений ожоговой болезни [6], подбора и мониторинга фармакотерапии, прогнозирования течения и исхода термического поражения. Создание таких прогностических моделей требует применения сложных методов математического моделирования и статистического анализа [6]. Для прогноза исхода ожоговой болезни предлагается использовать метод логической регрессии, который подразумевает математический анализ 43 лабораторных и других показателей, например объема инфузионной терапии. По мнению авторов, точность предлагаемой модели составляет от 85.4 до 91.1%, что превышает точность существующих методов (правило *Vaux*, индекс *Frank*, шкалы *SOFA*, *APACHE II*, *III*, *IV*, *SAPS*) – не более 74–85% [7, 8]. Для использования метода необходимо иметь практические навыки работы с соответствующим программным обеспечением. Вероятно, определенные перспективы применения метода могут быть связаны с успехами внедрения технических средств поддержки принятия решений в рамках цифровизации системы здравоохранения.

Показана возможность прогнозирования исхода свободной аутодермопластики при термических поражениях на основании результатов математической обработки искусственной нейронной сетью относительного содержания активированных CD3+HLA-DR+, концентрации интерлейкина-8 и матриксной металлопротеиназы-9 [9, 10]. Такой

подход требует специальных знаний и профессиональной подготовки и, очевидно, не может быть использован для решения оперативных задач.

Следует подчеркнуть, что, по мнению ряда исследователей, увеличение количества признаков, включенных в модель прогнозирования, не приводит к повышению ее точности [3]. Методики, которые используют балльные оценки, в целом носят общий характер и целесообразны для группового анализа. Математическое моделирование, в том числе пробит-анализ, линейная регрессия, множественная регрессия, дискриминантный анализ, корреляционный анализ, вариационный анализ, байесовский метод, нейросетевое моделирование и другие подходы, требующие сложных математических вычислений, по точности прогноза не выявили преимуществ по сравнению с простыми двухфакторными моделями, что ставит под сомнение целесообразность их применения в повседневной деятельности врача-реаниматолога и может свидетельствовать не столько о важности метода расчета, сколько о правильности выбора надежного предиктора прогнозируемого результата [3].

Раннее прогнозирование течения и исхода болезни, безусловно, позволяет своевременно изменять тактику лечебных мероприятий, что теоретически может привести к улучшению результатов лечения и снижению летальности при термической травме. В этой связи использование показателя соотношения натрий/калий крови представляется одним из перспективных методов прогноза в повседневных условиях работы отделений реанимационного профиля разного уровня.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование демонстрирует возможность использования оценки динамики соотношения натрий/калий крови как перспективного и достаточно информативного прогностического критерия неблагоприятного исхода при термической травме. При значении показателя 39 и выше, а также его последующем увеличении следует ожидать неблагоприятного исхода в ближайшие 7–10 сут. Целесообразным является проведение дополнительных исследований прогностического значения соотношения натрий/калий крови при критических состояниях, вызванных воздействием других этиологических факторов, а именно инфекционного, химического и кинетического, для установления его универсальности.

Соблюдение этических стандартов. Все исследования проводились в соответствии с принципами биомедицинской этики, изложенными в Хельсинкской декларации 1964 г. и последующих поправках к ней. Они также были одобрены локальным этическим комитетом Национального медицинского исследовательского центра высоких

медицинских технологий им. А.А. Вишневого Минобороны России (Красногорск), протокол № 2 от 02.02.2023 г.

Каждый участник исследования дал добровольное письменное информированное согласие после получения разъяснений о потенциальных рисках и преимуществах, а также о характере предстоящего исследования.

Конфликт интересов. Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Благодарности. Авторы выражают искреннюю признательность Академику РАН Ю.В. Наточину за плодотворную идею темы научного исследования и полезные замечания при подготовке рукописи, которые были с благодарностью приняты и учтены.

Вклад авторов в публикацию. А.В. Алехнович – идея работы, организация и набор материала, подготовка и редакция рукописи. А.В. Лазарев – статистическая обработка данных, подготовка рукописи. С.Л. Ведерникова – статистическая обработка, подготовка обзора литературы по теме публикации, подготовка рукописи. М.Р. Исмагилов – набор первичного материала, подготовка рукописи. П.С. Маркевич – набор первичного материала, статистическая обработка материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виденфельд С. О смерти от ожога. Степень зависимости летального исхода при ожогах кожи от тяжести обожженной поверхности // Арх. дерматол. и сифилис. 1902. Т. 61. С. 33.
2. Виденфельд С., Цумбуш В. Дальнейший вклад в патологию и терапию тяжелых ожогов // Арх. дерматол. и сифилис. 1905. Т. 76. С. 77; 163.
3. Матвиенко А.В. Прогнозирование исхода термических ожогов // Вестник хирургии им. И.И. Грекова. 2009. Т. 168. № 6. С. 101.
4. Наточин Ю.В., Чернышев О.Б. Концентрация электролитов в сыворотке крови как предвестник тяжелого течения COVID-19 // Нефрология. 2022. Т. 26. № 1. С. 27.
5. Овергаард-Стинсен С., Ринг Т. Клинический обзор: практический подход к лечению гипонатриемии и гипернатриемии у критически больных пациентов // Crit. Care. 2013. Т. 17. № 1. С. 206.
6. Мартусевич А.К., Дмитроченков А.В., Разумовский А.В. и др. Возможности мониторинга физико-химических свойств биологических жидкостей в комбустиологии // Медицина. 2018. № 1. С. 149.
7. Заворотный О.О. Возможности использования метода логистической регрессии для прогноза исхода и оптимизации хирургической тактики при ожоговой болезни: автореф. дис. ... канд. мед. наук.: 3.1.9. СПб., 2022. 24 с.
8. Зиновьев Е.В., Заворотный О.О., Костяков Д.В. и др. Тенденции развития методов прогнозирования исхода ожоговой болезни // Russ. Biomed. Res. (Российские биомедицинские исследования). 2022. Т. 7. № 1. С. 38.
9. Селиванов П.А. Лабораторные прогностические факторы исхода ожоговой травмы: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.03.10; 14.03.09. СПб., 2022. 24 с.
10. Селиванов П.А., Бычкова Н.В., Калинина Н.М. Ожоговая травма: иммунологические аспекты (научный обзор) // Профилактическая и клиническая медицина. 2020. № 2. С. 58.

REFERENCES

1. Wiedenfeld S. Ueber der verbrennungstod. Abh ngigkeit des verbrunnungstodes von der gresse der verbrannten hautflache // Arch. Dermatol. Syphilis. 1902. V. 61. P. 33.
2. Wiedenfeld S., Zumbusch Z. Weitere beitr ge f r pathologie und therapie schweren verbrennungen // Arch. Dermatol. Syphilis. 1905. V. 76. P. 77; 163.
3. Matvienko A.V. Forecasting the outcome of thermal burns // Grekov's Bulletin of Surgery. 2009. V. 168. № 6. P. 101.
4. Natochin Yu.V., Chernyshev O.B. [Electrolyte concentration in blood serum as prognostic of severe course COVID-19] // Nephrology (Saint Petersburg). 2022. V. 26. № 1. P. 27.
5. Overgaard-Steensen C., Ring T. Clinical review: Practical approach to hyponatraemia and hypernatraemia in critically ill patients // Crit. Care. 2013. V. 17. № 1. P. 206.
6. Martusevich A.K., Dmitrochenkov A.V., Razumovsky A.V. et al. The possibilities of monitoring the physico-chemical properties of biological fluids in kombustiology // Medicine. 2018. № 1. P. 149.
7. Zavorotny O.O. [Possibilities of using the logistic regression method to predict the outcome and optimize surgical tactics in burn disease]: abstract. ... candidate of Medical Sciences: 3.1.9. Saint Petersburg, 2022. 24 p.
8. Zinoviev E.V., Zavorotny O.O., Kostyakov D.V. et al. Trends in the development of methods for predicting the outcome of burn disease // Russ. Biomed. Res. 2022. V. 7. № 1. P. 38.
9. Selivanov P.A. [Laboratory prognostic factors of the outcome of burn injury]: abstract. ... candidate of Medical Sciences: 03.14.10; 03.14.09. Saint Petersburg, 2022. 24 p.
10. Selivanov P.A., Bychkova N.V., Kalinina N.M. Burn injury: immunological aspects (scientific review) // Prev. Clin. Med. 2020. № 2 (75). P. 58.

Predicting the Outcome of Thermal Injury Based on the Dynamics of the Blood Sodium/Potassium Ratio

A. V. Alekhnovich^{a, b, c, *}, A. V. Lazarev^a, S. L. Vedernikova^a, M. R. Ismagilov^a, P. S. Markevich^a

^aNational Medical Research Center of High Medical Technologies named after A.A. Vishnevsky, Krasnogorsk, Russia

^bRUDN University, Moscow, Russia

^cRussian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia

*E-mail: vmnauka@mail.ru

In order to determine the prognostic value of the dynamics of the blood sodium/potassium ratio in critical conditions during thermal trauma, the concentration of electrolytes was retrospectively studied in 107 patients with a combustological profile, 64 with a fatal outcome, 43 with a favorable outcome. It was found that an increase in the blood sodium/potassium ratio above 39 in dynamics indicates the possibility of a fatal outcome of a patient with thermal injury in the next 7–10 days.

Keywords: predicting an unfavorable outcome, thermal injury, blood sodium/potassium ratio, critical conditions, intensive care.