

Способ прогноза исхода ожоговой травмы на основе математической модели

Е.А. Жиркова¹ ✉, Т.Г. Спиридонова¹, О.Г. Синякова¹, А.В. Сачков¹, А.О. Медведев¹, Е.И. Елисеенкова¹, И.Г. Борисов¹, М.Л. Рогаль¹, С.С. Петриков^{1,2}

Отделение острых термических поражений

¹ ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»

129090, Российская Федерация, Москва, Большая Сухаревская пл., д. 3

² ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» МЗ РФ

127006, Российская Федерация, Москва, ул. Долгоруковская, д. 4

✉ Контактная информация: Жиркова Елена Александровна, кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник отделения острых термических поражений ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ». Email: zhirkovaea@sklif.mos.ru

АКТУАЛЬНОСТЬ

Выбор тактики лечения пациента с ожогами должен быть основан на индивидуальном прогнозировании исхода травмы. Известные модели прогнозирования исхода ожоговой травмы неточны и не позволяют определить вероятность благоприятного или неблагоприятного исхода для определённого пациента.

ЦЕЛЬ

Разработать способ индивидуального прогноза исхода ожоговой травмы на основе математической модели с использованием пересмотренного индекса Франка.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

399 пациентов: мужчин 283 (71%), женщин 116 (29%); возраст – 50 (36; 66) лет; общая площадь ожога – 25 (15; 40)% поверхности тела (п.т.), площадь поверхностного ожога – 20 (10; 30)% п.т., глубокого – 8 (3; 20)% п.т. У 140 больных (35%) выявлена ингаляционная травма.

На основании числа баллов *RFI* (с шагом 10) построены диаграммы частот благоприятного и неблагоприятного исходов. Математическая модель индивидуального прогноза базируется на уравнении регрессии, которое было получено на основе аппроксимированной кривой долей благоприятного исхода в оптимальном диапазоне *RFI*.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Вероятность наступления благоприятного исхода (%) в зависимости от числа баллов *RFI* распределилась следующим образом: при $RFI < 72$ – $\geq 99,9\%$; при $RFI \geq 72 \leq 189$ вероятность благоприятного исхода рассчитывается по формуле, полученной в результате аппроксимации полиномом 4-й степени кривой зависимости благоприятного исхода от числа баллов *RFI*: $0,0049x^4 - 0,1027x^3 - 0,1624x^2 + 2,6794x + 96,54$; где $x = (RFI - 35)/10$; при $RFI > 189$ – $\leq 0,1\%$. Вероятность неблагоприятного исхода определяется путем вычитания из 100% полученной вероятности благоприятного исхода.

ВЫВОД

Разработанный способ прогноза исхода ожоговой травмы на основе математической модели позволяет определить вероятность наступления благоприятного и неблагоприятного исходов для определённого пациента.

Ключевые слова:

ожоги, ингаляционная травма, прогнозирование, математическая модель

Ссылка для цитирования

Жиркова Е.А., Спиридонова Т.Г., Синякова О.Г., Сачков А.В., Медведев А.О., Елисеенкова Е.И. и др. Способ прогноза исхода ожоговой травмы на основе математической модели. *Журнал им. Н.В. Склифосовского неотложная медицинская помощь*. 2025;14(1):61–68. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2025-14-1-61-68>

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

Благодарность, финансирование

Исследование не имеет спонсорской поддержки

ВК — вероятностный калькулятор
ИТ — ингаляционная травма
п.т. — поверхность тела
ТКФ — точный критерий Фишера
M–W — критерий Манна–Уитни

R — коэффициент корреляции
 R^2 — коэффициент детерминации
RFI — Revised Index Frank — пересмотренный индекс Франка
Y — прогноз выживания

ВВЕДЕНИЕ

Вероятность наступления благоприятного или неблагоприятного исхода при ожоговой травме связывают с возрастом пациента, площадью ожогов, наличием ингаляционной травмы (ИТ) и другими факторами, относящимися к предикторам неблаго-

приятного исхода [1–5]. Отечественные и зарубежные авторы предлагали модели прогнозирования исхода ожоговой травмы на основе специализированных балльных индексов [6–11] или математических формул, включая в них разные предикторы неблагопри-

ятного исхода [12–14]. В предложенных моделях авторы либо устанавливали долю выживших пациентов с определённым числом баллов индекса эмпирическим путем, как в индексе *ABSI*, либо использовали линейную множественную или логистическую регрессию, и в результате получали лишь качественное определение прогноза («благоприятный», «относительно благоприятный», «сомнительный», «неблагоприятный»), что не является достаточным для выбора тактики лечения пациента, в том числе оперативного. Мы решили разработать способ прогноза исхода ожоговой травмы, который бы оценивал вероятность благоприятного или неблагоприятного исхода для каждого пациента индивидуально.

Цель исследования: разработать способ индивидуального прогноза исхода ожоговой травмы на основе математической модели с использованием пересмотренного индекса Франка.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В ретроспективное обсервационное одноцентровое исследование были включены 399 пациентов, поступивших в отделение реанимации и интенсивной терапии для ожоговых больных НИИ СП им. Н.В. Склифосовского в 2019–2022 годах. Критерии включения: возраст старше 18 лет; термические ожоги кожи (пламенем, кипятком или контактными) в том числе, сопровождающиеся ИТ. Все пациенты были госпитализированы в стационар в течение 24 часов с момента травмы.

Из 399 пациентов мужчин было 283 (71%), женщин — 116 (29%). Возраст пациентов составил 50 (36;66) от 18 до 93 лет. Общая площадь ожога — 25 (15;40) от 3 до 95% поверхности тела (п.т.). Площадь поверхностного ожога (I–II степени по МКБ-10) — 20 (10;30) от 0,5 до 86% п.т. Площадь глубокого ожога (III степени по МКБ-10) — 8 (3;20) от 0,5 до 95% п.т. Из 399 пациентов у 140 (35%) при бронхоскопии диагностирована ИТ [15]. Всем больным рассчитывали число баллов пересмотренного индекса Франка (*Revised Index Frank, RFI*) [16].

Статистический анализ проводили с помощью программ *Microsoft Excel u Statistica™ TIBCO®Software Inc.* версии 13.3. Так как большая часть данных имела распределение, отличное от нормального, применили непараметрические методы. Описательная статистика приведена в виде медиан (*Me*), межквартильных интервалов ($Q_1; Q_3$), минимальных и максимальных значений, абсолютных (*n*) и относительных (%) значений. Сравнение групп проводили с помощью критериев: Манна–Уитни (*M–W*) для непрерывных числовых данных, точного критерия Фишера (ТКФ) для дискретных показателей, а также вероятностного калькулятора (ВК) для долей [17]. За уровень статистической значимости принято $p < 0,05$. Выборку формировали сплошным методом.

Для получения формулы, прогнозирующей исход травмы, были построены графики частот благоприятного и неблагоприятного исходов в зависимости от числа баллов *RFI*. Кривая долей выживших пациентов была аппроксимирована для получения уравнения регрессии, на основании которого определяли вероятность благоприятного исхода. Качество аппроксимации в разных диапазонах *RFI* оценивали с помощью коэффициентов: детерминации (R^2) и корреляции (R), среднего отклонения вычисляемых значений от исходных. Высокую точность аппроксимации характеризовал R^2 более 0,95 [18]. Вероятность благоприятного или неблагоприятного исхода выражали в процентах.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Из 399 пациентов выжили 297 (74%), умерли 102 (26%). Сравнительная характеристика выживших и умерших пациентов представлена в табл. 1.

Как видно из табл. 1, умершие пациенты были статистически значимо старше по возрасту ($p < 0,001$), имели большую площадь ожога: общую ($p < 0,001$), поверхностного ($p = 0,049$) и глубокого ($p < 0,001$) и чаще сопутствующую ИТ ($p = 0,007$).

У 399 пациентов индекс *RFI* принимал значения в интервале 37–372 балла: среди 297 выживших пациен-

Таблица 1

Сравнительная характеристика выживших и умерших 399 пациентов

Table 1

Comparative characteristics of 399 surviving and deceased patients

Показатели	Исход	Результаты				p , критерий ТКФ, <i>M–W</i> , ВК	
		<i>n</i>	%	<i>Me</i> ($Q_1; Q_3$)	<i>min–max</i>		
Пол	Мужской	Жив	225	80	–	–	<0,001 ¹
		Умер	58	20	–	–	
	Женский	Жив	72	62	–	–	
		Умер	44	38	–	–	
Возраст, лет	Жив	297	74	46 (34; 59)	18–93	<0,001 ²	
	Умер	102	26	64 (51; 80)	18–91		
Общая площадь ожога, % п.т.	Жив	297	74	22 (15; 31)	3–88	<0,001 ²	
	Умер	102	26	40 (25; 65)	3–95		
Площадь поверхностного ожога, % п.т.	Жив	296	76	20 (10; 30)	1–86	0,049 ²	
	Умер	95	24	15 (7; 25)	1–75		
Площадь глубокого ожога, % п.т.	Жив	140	60	4 (2; 10)	0,5–40	<0,001 ²	
	Умер	95	40	25 (12; 39)	2–95		
ИТ	Жив	81	58	–	–	0,007 ³	
	Умер	59	42	–	–		

Примечания: ¹ – ТКФ – точный критерий Фишера; ² – *M–W* – критерий Манна–Уитни; ³ – ВК – вероятностный калькулятор; ИТ – ингаляционная травма; п.т. – поверхность тела

Notes: ¹ – ТКФ – Fisher's exact test; ² – *M–W* – Mann–Whitney test; ³ – ВК – probability calculator; ИТ – inhalation injury; п.т. – body surface area

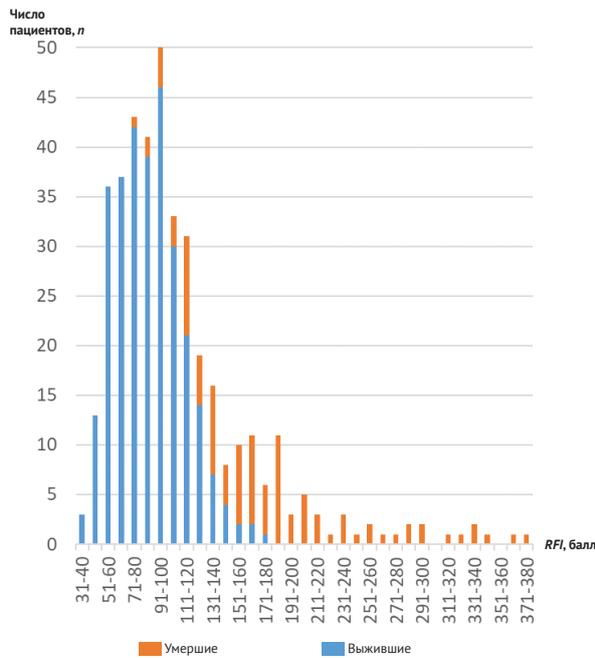


Рис. 1. Число выживших и умерших пациентов в зависимости от количества баллов пересмотренного индекса Франка (*RFI*)

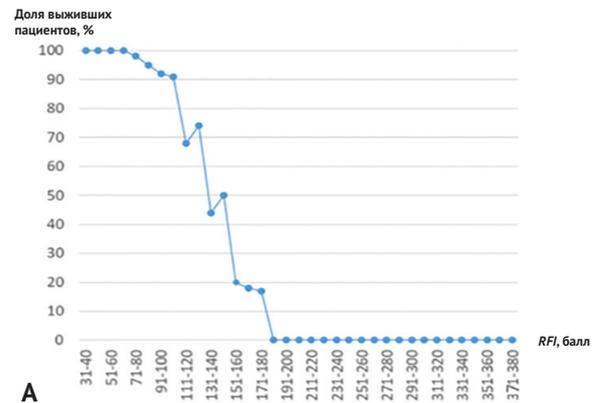
Fig. 1. The number of surviving and deceased patients depending on the number of points of the revised Frank index (*RFI*)

тов балл *RFI* составил — 85 (68; 102) от 37 до 175, среди 102 умерших пациентов балл *RFI* составил — 169 (131; 207) от 78 до 372 и был статистически значимо больше, чем у выживших ($p < 0,001$; $M-W$). Чтобы определить частоту смертельных исходов при различных значениях *RFI* в интервале от 37 до 372 баллов, мы построили диаграммы абсолютного числа (рис. 1) и долей (рис. 2) благоприятных и неблагоприятных исходов в зависимости от количества баллов *RFI* с шагом 10 (от 31 до 380 баллов).

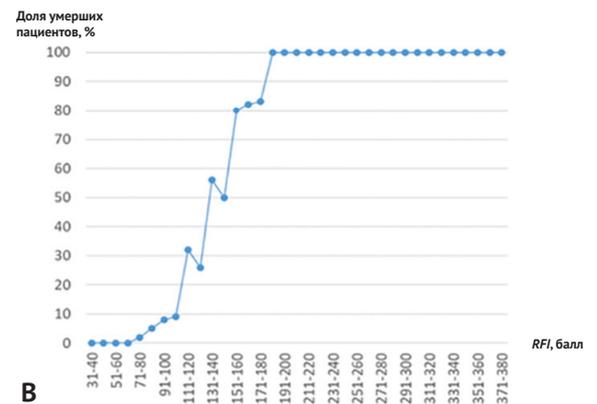
Диаграммы абсолютного числа и долей выживших и умерших демонстрируют стратификацию пациентов на группы благоприятных и неблагоприятных исходов в зависимости от количества баллов *RFI*. Чем меньше число баллов *RFI*, тем больше доля выживших пациентов (рис. 2A), чем больше число баллов *RFI*, тем больше доля умерших пациентов (рис. 2B).

Чтобы получить уравнение регрессии для вычисления вероятности исходов ожоговой травмы, были построены диаграммы в виде функциональных кривых, которые были подвергнуты аппроксимации. В качестве аргумента по оси абсцисс (x) были взяты середины интервалов, в качестве функции по оси ординат (y) — доли выживших и умерших пациентов в процентах. При аппроксимации кривых исхода с построением линии тренда среди пяти видов аппроксимации (линейной, экспоненциальной, логарифмической, полиномиальной и степенной) наилучшее качество модели ($R^2 > 0,97$) было получено при выборе полинома 4-й степени (рис. 3).

С целью определения оптимального уравнения регрессии для расчёта вероятности благоприятного исхода полиномиальную аппроксимацию проводили на разных диапазонах интервалов *RFI*: 65–185; 55–195; 45–205; 35–215; 25–225. Сравнение результатов показало, что наибольшее значение коэффициента корреляции (R) и наименьшее среднее отклонение вычисляемых значений от исходных с достаточно высоким коэффициентом детерминации (R^2) были получены при аппроксимации в диапазоне 45–205 баллов (табл. 2).



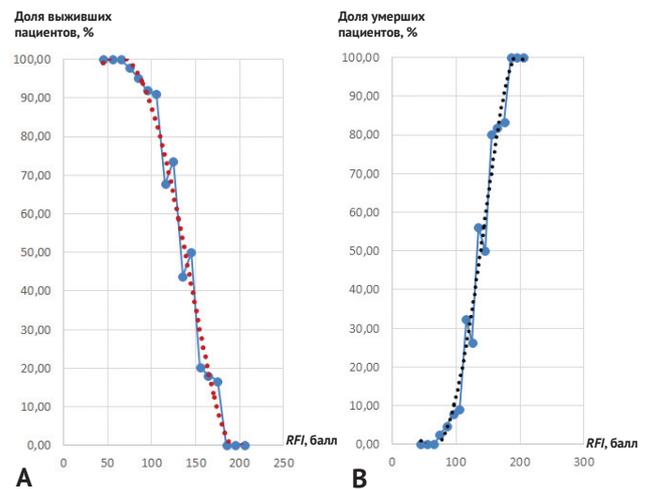
А



В

Рис. 2. Доли выживших (А) и умерших (В) пациентов в зависимости от числа баллов пересмотренного индекса Франка (*RFI*)

Fig. 2. Proportions of surviving (A) and deceased (B) patients depending on the number of points of the revised Frank index (*RFI*)



А

В

Рис. 3. Кривые долей выживших (А) и умерших (В) пациентов с полиномиальной линией тренда 4-й степени
Fig. 3. Curves of the proportions of surviving (A) and deceased (B) patients with a 4th order polynomial trend line

ляции (R) и наименьшее среднее отклонение вычисляемых значений от исходных с достаточно высоким коэффициентом детерминации (R^2) были получены при аппроксимации в диапазоне 45–205 баллов (табл. 2).

Для этого интервала RFI было получено уравнение регрессии в виде полинома 4-й степени с построением линии тренда:

$$y(x) = 0,0049x^4 - 0,1027x^3 - 0,1624x^2 + 2,6794x + 96,54;$$

где y — прогнозируемая вероятность благоприятного исхода в %, $x = (RFI - 35)/10$ — аргумент функции, зависящий от числа баллов RFI. Коэффициент детерминации полученного уравнения регрессии (R^2) — 0,9802, $R = 0,9901$ ($p < 0,01$; ТКФ) (рис. 4).

При расчёте по уравнению регрессии в зависимости от значения балла RFI вероятность наступления благоприятного исхода (%) у пациентов с ожогами распределяется следующим образом:

1) при значении RFI менее 72 баллов вероятность благоприятного исхода составляет не менее 99,9%;

2) при значении RFI не менее 72 — не более 189 баллов вероятность благоприятного исхода рассчитывается по формуле, полученной в результате аппроксимации полиномом 4-й степени кривой зависимости благоприятного исхода от числа баллов RFI: $0,0049x^4 - 0,1027x^3 - 0,1624x^2 + 2,6794x + 96,54$; где $x = (RFI - 35)/10$;

3) при значении RFI более 189 баллов вероятность благоприятного исхода составляет не более 0,1%. Вероятность неблагоприятного исхода определяется путём вычитания значения вероятности благоприятного исхода из 100%.

ОБСУЖДЕНИЕ

Известные прогностические модели помогают оценивать вероятность выживания пациентов с ожоговой травмой, в большинстве случаев определяя прогноз исхода травмы качественно, но не количественно. Способ прогнозирования исхода ожоговой травмы с использованием индекса Франка впервые был описан автором в 1960 году [6]. В настоящее время число баллов индекса Франка определяет прогноз исхода травмы таким образом: не более 30 баллов — благоприятный, 31–60 — относительно благоприятный, 60–90 — сомнительный, не менее 91 — неблагоприятный [19]. Пересмотренный индекс *Vaiax* [7] учитывает возраст, ИТ и общую площадь ожога, но не учитывает наличие глубоких ожогов. Прогноз исхода травмы определяется числом баллов: не более 60 баллов — благоприятный, 61–80 — относительно благоприятный, 81–100 — сомнительный, не менее 101 — неблагоприятный [19]. Однако оба эти способа позволяют прогнозировать исход травмы лишь на качественном уровне: «благоприятный», «относительно благоприятный», «сомнительный», «неблагоприятный», что не является достаточным для выбора тактики лечения пациента.

А.В. Матвеевко и соавт. была предложена математическая модель для прогнозирования на основе пробит-анализа. Предикторами для построения координатной сетки являются возраст и общая площадь ожога. По координатной сетке определяют вероятность смертельного исхода (в пробитах от 0,01 до 1,0). При значениях пробита «0» — прогноз благоприятный, 0,1–0,3 — относительно благоприятный, 0,4–0,6 — сомнительный, 0,7–0,9 — неблагоприятный, 1,0 — абсолютно неблагоприятный. Однако данный способ не обеспечивает точного прогноза исхода ожоговой травмы для пациента в диапазоне пробита от 1 до 0,1, на что указывают сами авторы. Также недостатком этой модели является низкая точность прогноза

Таблица 2

Сравнение коэффициентов при аппроксимации в различных диапазонах изменения пересмотренного индекса Франка

Table 2

Comparison of coefficients when approximating in different ranges of RFI change

Диапазон RFI, баллы	Значения коэффициентов		Среднее отклонение вычисленных значений от исходных
	R^2	R	
65–185	0,968	0,983	0,22
55–195	0,975	0,988	0,30
45–205	0,980	0,990	0,24
35–215	0,982	0,980	1,03
25–225	0,983	0,983	0,48

Примечания: R — коэффициент корреляции; R^2 — коэффициент детерминации; RFI — пересмотренный индекс Франка
Notes: R — correlation coefficient; R^2 — coefficient of determination; RFI — revised Frank index

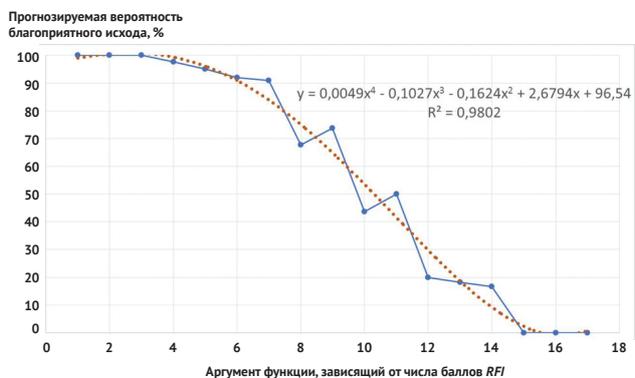


Рис. 4. Кривая и уравнение регрессии вероятности благоприятного исхода

Fig. 4. Curve and equation of probability of favorable outcome regression

(77,8%) среди пациентов с перспективой благоприятного исхода [20].

О.О. Заворотный и соавт. разработали модель прогнозирования смертельного исхода по формуле, включающей 18 параметров, оцениваемых в 1-е–3-и сутки после травмы. Модель включает возраст пострадавшего, площадь глубокого ожога, показатели клинического и биохимического анализов, газового и кислотно-основного состава артериальной крови, лактата венозной крови, коагулограммы, показателей клинического анализа мочи, температуры тела, объёма инфузионной терапии на 3-и сутки, объёма выпитой воды в 1-е и 3-и сутки, диурез в первые трое суток интенсивной терапии. Вероятность смертельного исхода определяют по формуле, полученной методом логистической регрессии. Способ требует измерения большого количества параметров и не позволяет прогнозировать смертельный исход до 4-х суток, что не обеспечивает своевременного и точного прогноза в 1-е сутки поступления в стационар для выбора тактики лечения. При этом вероятность наступления смертельного исхода имеет только качественную оценку — «минимальная» или «высокая» [13].

И.В. Шлык и соавт. предложили модель прогнозирования, основанную на оценке площади поверхностных и глубоких ожогов, возрасте пострадавшего, определе-

нии степени тяжести ИТ и уровня дефицита/избытка оснований в артериальной крови. Прогноз выживания (Y) рассчитывают по формуле, где при значении Y более 0,5 прогност для жизни считают благоприятным, Y от -0,5 до +0,5 — сомнительным, а при Y менее -0,5 — неблагоприятным. Недостатком способа является только качественное определение прогноза («благоприятный», «неблагоприятный», «сомнительный»). Кроме того, для данного способа необходимо исследование кислотно-основного состояния артериальной крови с целью определения уровня дефицита/избытка оснований, что проводится только в отделении реанимации квалифицированными специалистами, а значит метод не подходит для пациентов, которых не госпитализируют в отделение реанимации. Так как уровень дефицита/избытка оснований — величина динамическая и при адекватном медикаментозном лечении изменяется — стремится к нормализации, то этот метод подходит только для оценки прогноза в первые часы после травмы, фактически — к периоду до начала лечения. Метод неприменим для динамической оценки состояния пациентов и прогнозирования вероятности благоприятного/неблагоприятного исхода, как и определения сроков проведения оперативного лечения. При этом нормальный уровень кислотно-основного состояния артериальной крови в момент его измерения не исключает неблагоприятный исход, обусловленный ожоговой травмой [14].

Индекс *ABSI* прогнозирует исход ожоговой травмы, определяя баллы за возраст и пол пациента, ИТ, общую площадь и наличие глубоких ожогов, не учитывая их площадь. *ABSI* стратифицирует пациентов на шесть групп по числу баллов индекса: 2–3, 4–5, 6–7, 8–9, 10–11 и не менее 12 баллов. Для каждой группы определены доли выживших пациентов, однако между группами 2–3 и 4–5 баллов они практически не различаются — 99% и 98% соответственно, а в группах 8–9 и 10–11 баллов имеют разброс 20% — 50–70% и 20–40% соответственно, что не может считаться точным прогнозом [21].

Прогноз исхода травмы на основе разработанной нами модели рассчитывается на основании *RFI* каждого конкретного пациента и может изменяться в зависимости от течения раневого процесса, например, при эпителизации поверхностных ожогов. Для динамической оценки прогноз исхода травмы должен пересчитываться после каждой перевязки или операции.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Sheppard NN, Hemington-Gorse S, Shelley OP, Philip B, Dziewulski P. Prognostic scoring systems in burns: a review. *Burns*. 2011;37(8):1288–1295. PMID: 21940104 <https://doi.org/10.1016/j.burns.2011.07.017>
- Ghanem AM, Sen S, Philip B, Dziewulski D, Shelley OP. Body Mass Index (BMI) and mortality in patients with severe burns: is there a “tilt point” at which obesity influences outcome? *Burns*. 2011;37(2):208–214. PMID: 21129850 <https://doi.org/10.1016/j.burns.2010.08.010>
- Saadat DH, Toor R, Mazhar F, Bajani F, Tatabe L, Schlanser V, et al. Severe burn injury: Body Mass Index and the Baux score. *Burns*. 2021;47(1):72–77. PMID: 33234365 <https://doi.org/10.1016/j.burns.2020.10.017>
- Lam NN, Duc NM, Hung NT. Influence of pre-existing medical condition and predicting value of modified Elixhauser comorbidity index on outcome of burn patients. *Burns*. 2020;46(2):333–339. PMID: 31859095 <https://doi.org/10.1016/j.burns.2019.08.004>
- Knowlin L, Stanford L, Moore D, Cairns B, Charles A. The measured effect magnitude of co-morbidities on burn injury mortality. *Burns*. 2016;42(7):1433–1438. PMID: 27593340 <https://doi.org/10.1016/j.burns.2016.03.007>
- Frank G. [The “prognostic index” in burns for a more exact characterization of their degree of severity and a more reliable statistical evaluation]. *Zentralbl Chir*. 1960;85:272–277. [Article in German]. PMID: 13824499
- Osler T, Gance LG, Hosmer DW. Simplified estimates of the probability of death after burn injuries: extending and updating the baux score. *J Trauma*. 2010;68(3):690–697. PMID: 20038856 <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3181c453b3>
- Tobiasen J, Hiebert JM, Edlich RF. The abbreviated burn severity index. *Ann Emerg Med*. 1982;11(5):260–262. PMID: 7073049 [https://doi.org/10.1016/s0196-0644\(82\)80096-6](https://doi.org/10.1016/s0196-0644(82)80096-6)
- Tagami T, Matsui H, Fushimi K, Yasunaga H. Validation of the prognostic burn index: a nationwide retrospective study. *Burns*. 2015;41(6):1169–1175. PMID: 26120088 <https://doi.org/10.1016/j.burns.2015.02.017>
- Ryan CM, Schoenfeld DA, Thorpe WP, Sheridan RL, Cassem EH, Tompkins RG. Objective estimates of the probability of death from burn injuries. *N Engl J Med*. 1998;338(6):362–366. PMID: 9449729 <https://doi.org/10.1056/NEJM199802053380604>
- Belgian Outcome in Burn Injury Study Group. Development and validation of a model for prediction of mortality in patients with acute burn injury. *Br J Surg*. 2009;96(1):111–117. PMID: 19109825 <https://doi.org/10.1002/bjs.6329>
- Renzi BM, Sherman R. The burn unit experience at Grady Memorial Hospital: 844 cases. *J Burn Care Rehabil*. 1992;13(4):426–436. PMID: 1429814 <https://doi.org/10.1097/00004630-199207000-00008>

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модель прогноза исхода травмы, разработанная нами на основе индекса *RFI*, позволяет определить вероятность наступления благоприятного и неблагоприятного (в процентах) исходов для каждого пациента индивидуально. Высокая точность прогноза предложенной нами модели позволит разработать алгоритмы маршрутизации, диагностики, осуществлять выбор тактики оперативного лечения, его объёма и сроков начала. На предложенную модель оценки исхода травмы был получен патент «Способ прогнозирования благоприятного исхода у пациентов с термической травмой для выбора тактики лечения (варианты)» (RU2825062C1) и разработана программа ЭВМ «Калькулятор *RFI* и прогноза исхода термической травмы для пациентов старше 18 лет» (RU2023685743), автоматически рассчитывающая число баллов *RFI* и вероятность благоприятного и неблагоприятного исходов по вводимым значениям возраста пациента, общей площади ожога, площади глубокого ожога, а также наличия или отсутствия ингаляционной травмы, которой можно свободно воспользоваться на сайте НИИ СП им. Н.В. Склифосовского: <https://sklif.mos.ru/departments/acute-thermal-injuries/calculator/?selectedCalculator=RFICalculator&inhalationTrauma=true&age=52&mass=68&allSquare=60&firstDegreeSquare=10&thirdDegreeSquare=10&volumeOfInfusionTherapy=0>

ВЫВОДЫ

- При значениях *RFI* менее 72 баллов вероятность благоприятного исхода составляет не менее 99,9%.
- При значении *RFI* не менее 72 — не более 189 баллов вероятность благоприятного исхода рассчитывается по формуле уравнения регрессии с коэффициентом детерминации (R^2) — 0,9802, $R = 0,9901$ ($p < 0,01$; точный критерий Фишера): $0,0049x^4 - 0,1027x^3 - 0,1624x^2 + 2,6794x + 96,54$; где $x = (RFI - 35)/10$.
- При значениях *RFI* более 189 баллов вероятность благоприятного исхода составляет не более 0,1%.
- Разработанный способ прогноза исхода ожоговой травмы на основе значения *RFI* позволяет определить вероятность наступления благоприятного и неблагоприятного исходов, выраженную в процентах, для каждого пациента индивидуально.

13. Заворотный О.О., Зиновьев Е.В., Костяков Д.В. Возможности прогнозирования летального исхода тяжелообожженных на основе методов регрессионного анализа. *Вестник хирургии имени И.И. Грекова*. 2020;179(5):21–29. <https://doi.org/10.24884/0042-4625-2020-179-5-21-29>
14. Шлык И.В., Полушин Ю.С., Широков Д.М. *Способ прогнозирования исхода комбинированной термической травмы*. Патент 2185095 Российской Федерация МПК51 А61В 5/107(2006.01); А61/02(2006.01); G01N 33/483(2006.01). №2000128530/14; заявл. 14.11.2000; опубл. 20.07.2002.
15. Синева Ю.В., Скрипаль А.Ю., Герасимова Л.И., Логинов Л.П., Прохоров А.Ю. Фибробронхоскопия при термоингаляционных поражениях дыхательных путей. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 1988;(8):100–104.
16. Жиркова Е.А., Спиридонова Т.Г., Сачков А.В., Реброва О.Ю., Петриков С.С. Пересмотр индекса Франка для прогноза смертельного исхода при термической травме. *Журнал им. Н.В. Склифосовского*

REFERENCES

1. Sheppard NN, Hemington-Gorse S, Shelley OP, Philp B, Dziewulski P. Prognostic scoring systems in burns: a review. *Burns*. 2011;37(8):1288–1295. PMID: 21940104 <https://doi.org/10.1016/j.burns.2011.07.017>
2. Ghanem AM, Sen S, Philp B, Dziewulski D, Shelley OP. Body Mass Index (BMI) and mortality in patients with severe burns: is there a “tilt point” at which obesity influences outcome? *Burns*. 2011;37(2):208–214. PMID: 21129850 <https://doi.org/10.1016/j.burns.2010.08.010>
3. Saadat DH, Toor R, Mazhar F, Bajani F, Tatebe L, Schlanser V, et al. Severe burn injury: Body Mass Index and the Baux score. *Burns*. 2021;47(1):72–77. PMID: 33234365 <https://doi.org/10.1016/j.burns.2020.10.017>
4. Lam NN, Duc NM, Hung NT. Influence of pre-existing medical condition and predicting value of modified Elixhauser comorbidity index on outcome of burn patients. *Burns*. 2020;46(2):333–339. PMID: 31859095 <https://doi.org/10.1016/j.burns.2019.08.004>
5. Knowlin L, Stanford L, Moore D, Cairns B, Charles A. The measured effect magnitude of co-morbidities on burn injury mortality. *Burns*. 2016;42(7):1433–1438. PMID: 27593340 <https://doi.org/10.1016/j.burns.2016.03.007>
6. Frank G. [The “prognostic index” in burns for a more exact characterization of their degree of severity and a more reliable statistical evaluation]. *Zentralbl Chir*. 1960;85:272–277. [Article in German]. PMID: 13824499
7. Osler T, Glance LG, Hosmer DW. Simplified estimates of the probability of death after burn injuries: extending and updating the baux score. *J Trauma*. 2010;68(3):690–697. PMID: 20038856 <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3181c453b3>
8. Tobiasen J, Hiebert JM, Edlich RF. The abbreviated burn severity index. *Ann Emerg Med*. 1982;11(5):260–262. PMID: 7073049 [https://doi.org/10.1016/s0196-0644\(82\)80096-6](https://doi.org/10.1016/s0196-0644(82)80096-6)
9. Tagami T, Matsui H, Fushimi K, Yasunaga H. Validation of the prognostic burn index: a nationwide retrospective study. *Burns*. 2015;41(6):1169–1175. PMID: 26120088 <https://doi.org/10.1016/j.burns.2015.02.017>
10. Ryan CM, Schoenfeld DA, Thorpe WP, Sheridan RL, Cassem EH, Tompkins RG. Objective estimates of the probability of death from burn injuries. *N Engl J Med*. 1998;338(6):362–366. PMID: 9449729 <https://doi.org/10.1056/NEJM199802053380604>
11. Belgian Outcome in Burn Injury Study Group. Development and validation of a model for prediction of mortality in patients with acute

- burn injury. *Br J Surg*. 2009;96(1):111–117. PMID: 19109825 <https://doi.org/10.1002/bjs.6329>
12. Renz BM, Sherman R. The burn unit experience at Grady Memorial Hospital: 844 cases. *J Burn Care Rehabil*. 1992;13(4):426–436. PMID: 1429814 <https://doi.org/10.1097/00004630-199207000-00008>
13. Zavorotniy OO, Zinoviev EV, Kostyakov DV. Predicting for mortality rate using regression analysis in patient with burn injury. *Grekov's Bulletin of Surgery*. 2020;179(5):21–29. (In Russ.) <https://doi.org/10.24884/0042-4625-2020-179-5-21-29>
14. Shlyk IV, Polushin YuS, Shirokov DM. *Способ прогнозирования исхода комбинированной термической травмы*. Патент 2185095 RF МПК51 А61В 5/107(2006.01); А61/02(2006.01); G01N 33/483(2006.01). No 2000128530/14; decl. 14.11.2000; publ. 20.07.2002. (In Russ.)
15. Sineva YuV, Skripal' AYU, Gerasimova LI, Loginov LP, Prokhorov AYU. Фибробронхоскопия при термоингаляционных поражениях дыхательных путей. *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 1988;(8):100–104. (In Russ.)
16. Zhirkova EA, Spiridonova TG, Sachkov AV, Rebrova OYu, Petrikov SS. Revision of the Frank Index for Predicting Death in Thermal Injury. *Russian Sklifosovsky Journal Emergency Medical Care*. 2023;12(2):224–229. (In Russ.) <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2023-12-2-224-229>
17. Rebrova OYu. *Statisticheskiy analiz meditsinskikh dannykh. Primenenie paketa prikladnykh programm STATISTICA*. Moscow: Media Sfera Publ.; 2003. (In Russ.)
18. Golubinskiy A.N. Metody approksimatsii eksperimental'nykh dannykh i postroeniya modeley. *Vestnik of Voronezh Institute of the Ministry of Interior of Russia*. 2007;(2):138–143. (In Russ.)
19. Ministerstvo zdравookhraneniya Rossiyskoy Federatsii; Ob'edinenie kombustsiologov “Mir bez ozhogov”. *Ozhogi termicheskie i khimicheskie. Ozhogi solnechnye. Ozhogi dykhatel'nykh putey: nats. klinicheskie rekomendatsii*. Moscow; 2021. (In Russ.)
20. Matveenko AV, Plotnikov SA, Shindyapin SV. Model of Prognosis of Outcome of Burn Trauma on The Basis of Probit-Analysis. *Grekov's Bulletin of Surgery*. 2006;165(4):50–53. (In Russ.)
21. Forster NA, Zingg M, Haile SR, Künzi W, Giovanoli P, Guggenheim M. 30 years later—does the ABSI need revision? *Burns*. 2011;37(6):958–963. PMID: 21493008 <https://doi.org/10.1016/j.burns.2011.03.009>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Жиркова Елена Александровна

кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник отделения острых термических поражений ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»;

<http://orcid.org/0000-0002-9862-0229>, zhirkovaea@sklif.mos.ru;

15%: концепция и дизайн исследования, статистическая обработка, написание, утверждение окончательного варианта статьи

Спиридонова Тамара Георгиевна

доктор медицинских наук, научный консультант отделения острых термических поражений ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»;

<http://orcid.org/0000-0001-7070-8512>, spiridonovatg@sklif.mos.ru;

15%: концепция и дизайн исследования, интерпретация данных, написание и утверждение окончательного варианта статьи

Синякова Ольга Германовна

кандидат технических наук, научный консультант отделения лучевой диагностики ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»;

<http://orcid.org/0000-0003-1686-6952>, sinyakovaog@sklif.mos.ru;

13%: статистическая обработка и интерпретация полученных данных

- Сачков Алексей Владимирович** кандидат медицинских наук, заведующий научным отделением острых термических поражений ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»;
http://orcid.org/0000-0003-3742-6374, sachkovav@sklif.mos.ru;
12%: редактирование, утверждение окончательного варианта статьи
- Медведев Александр Олегович** врач-хирург отделения острых термических поражений ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»;
http://orcid.org/0000-0001-7159-7287, medvedevao@sklif.mos.ru;
11%: сбор материала, анализ полученных данных
- Елисеенкова Елена Игоревна** врач-реаниматолог отделения реанимации и интенсивной терапии для ожоговых больных ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»;
http://orcid.org/0000-0002-5070-0908, eliseenkovaei@sklif.mos.ru;
10%: сбор материала, анализ полученных данных
- Борисов Илья Григорьевич** врач-реаниматолог отделения реанимации и интенсивной терапии для ожоговых больных ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»;
http://orcid.org/0000-0002-4895-2444, borisovig@sklif.mos.ru;
9%: сбор материала, анализ полученных данных
- Рогаль Михаил Леонидович** профессор, доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»;
http://orcid.org/0000-0003-1051-7663, rogalml@sklif.mos.ru;
8%: научное редактирование статьи
- Петриков Сергей Сергеевич** член-корреспондент РАН, профессор, доктор медицинских наук, директор ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», заведующий кафедрой анестезиологии, реаниматологии и неотложной медицины Научно-образовательного института непрерывного профессионального образования им. Н.Д. Ющука ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» МЗ РФ;
http://orcid.org/0000-0003-3292-8789, petrikovss@sklif.mos.ru;
7%: редактирование критически важного интеллектуального содержания

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Method for Predicting the Outcome of Burn Injury Based on a Mathematical Model

E.A. Zhirkova¹ ✉, T.G. Spiridonova¹, O.G. Sinyakova¹, A.V. Sachkov¹, A.O. Medvedev¹, E.I. Eliseenkova¹, I.G. Borisov¹, M.L. Rogal¹, S.S. Petrikov^{1,2}

Department of Acute Thermal Injuries

¹ N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine
Bolshaya Sukharevskaya Sq. 3, Moscow, Russian Federation 129090

² Russian University of Medicine
Dolgorukovskaya, St. 4, Moscow, Russian Federation 127006

✉ **Contacts:** Elena A. Zhirkova, Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher, Department of Acute Thermal Injuries, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine.
Email: zhirkovaea@sklif.mos.ru

ABSTRACT The choice of treatment tactics for a patient with burns should be based on individual prediction of injury outcome. Known models for predicting the outcome of burn injury are inaccurate and do not allow us to determine the probability of different outcomes for a particular patient.

AIM OF THE STUDY To develop a method for individual prediction of the outcome of burn injury based on a mathematical model using the revised Frank index.

MATERIAL AND METHODS 399 patients: men 283 (71%), women 116 (29%); age – 50 (36; 66) years; total burn area – 25 (15; 40) % TBSA, I–II degree – 20 (10; 30) % TBSA, III degree – 8 (3; 20) % TBSA. In 140 (35%) patients, inhalation injury was detected.

Based on the number of revised Frank Index (RFI) scores (in increments of 10), frequency diagrams of different outcomes were constructed. The mathematical model of individual prognosis is based on a regression equation that was derived from an approximated curve of the proportions of a favorable outcome in the optimal RFI range.

RESULTS Patient survival probability (%) depending on the number of RFI points was distributed as follows: with RFI<72 – ≥99.9%; for RFI ≥72 ≤189, the probability of survival is calculated using the formula obtained as a result of approximation by a 4th degree polynomial of the curve of the dependence of survival on the number of RFI points: $0.0049x^4 - 0.1027x^3 - 0.1624x^2 + 2.6794x + 96.54$; where $x = (RFI - 35)/10$; with RFI>189 – ≤0.1%. The probability of a lethal outcome is determined by subtracting the resulting probability of a survival from 100%.

CONCLUSION The developed method for predicting the outcomes of a burn injury based on a mathematical model allows us to determine the probability of different outcomes for a particular patient.

Keywords: Burns, Inhalation Injury, Prognosis, Mathematic Model

For citation Zhirkova EA, Spiridonova TG, Sinyakova OG, Sachkov AV, Medvedev AO, Eliseenkova EI, et al. Method for Predicting the Outcome of Burn Injury Based on a Mathematical Model. *Russian Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care*. 2025;14(1):61–68. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2025-14-1-61-68> (in Russ.)

Conflict of interest Authors declare lack of the conflicts of interests

Acknowledgments, sponsorship The study has no sponsorship

Affiliations

Elena A. Zhirkova

Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher, Department of Acute Thermal Injuries, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine;

http://orcid.org/0000-0002-9862-0229; zhirkovaea@sklif.mos.ru;

15%, study concept and design, statistical processing, text writing, approval of the final version of the article

- Tamara G. Spiridonova Doctor of Medical Sciences, Scientific Consultant, Department of Acute Thermal Injuries, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine;
<http://orcid.org/0000-0001-7070-8512>, spiridonovtg@sklif.mos.ru;
15%, study concept and design, data interpretation, text writing, approval of the final version of the article
- Olga G. Sinyakova Candidate of Technical Sciences, Scientific Consultant, Department of Radiology, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine;
<http://orcid.org/0000-0003-1686-6952>, sinyakovaog@sklif.mos.ru;
13%, statistical processing and interpretation of data
- Aleksey V. Sachkov Candidate of Medical Sciences, Head, Department of Acute Thermal Injuries, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine;
<http://orcid.org/0000-0003-3742-6374>, sachkovav@sklif.mos.ru;
12%, text editing, approval of the final version of the article
- Aleksandr O. Medvedev Surgeon, Department of Acute Thermal Injuries, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine;
<http://orcid.org/0000-0001-7159-7287>, medvedevao@sklif.mos.ru;
11%, material collection, data analysis
- Elena I. Eliseenkova Resuscitator, Resuscitation and Intensive Care Department for Burn Patients, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine;
<http://orcid.org/0000-0002-5070-0908>, eliseenkovaiei@sklif.mos.ru;
10%, material collection, data analysis
- Ilya G. Borisov Resuscitator, Resuscitation and Intensive Care Department for Burn Patients, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine;
<http://orcid.org/0000-0002-4895-2444>, borisovig@sklif.mos.ru;
9%, material collection, data analysis
- Mikhail L. Rogal Full Professor, Doctor of Medical Sciences, Deputy Director for Research, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine;
<http://orcid.org/0000-0003-1051-7663>, rogalml@sklif.mos.ru;
8%, scientific editing of the article
- Sergey S. Petrikov Corresponding Member of the RAS, Full Professor, Doctor of Medical Sciences, Director, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; Head, Department of Anesthesiology, Resuscitation and Emergency Medicine, N.D. Yushchuk Scientific and Educational Institute of Continuous Professional Education, Russian University of Medicine; <http://orcid.org/0000-0003-3292-8789>, petrikovss@sklif.mos.ru;
7%, editing of critically important intellectual content

Received on 01.03.2024

Review completed on 13.05.2024

Accepted on 24.12.2024

Поступила в редакцию 01.03.2024

Рецензирование завершено 13.05.2024

Принята к печати 24.12.2024