

© СС © О. О. Заворотний, Е. В. Зиновьев, Д. В. Костяков, 2020  
 УДК 616-001.7-036.88-036.8:303.724.32  
 DOI: 10.24884/0042-4625-2020-179-5-21-29

## ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛЕТАЛЬНОГО ИСХОДА ТЯЖЕЛООБОЖЖЕННЫХ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

О. О. Заворотний\*, Е. В. Зиновьев, Д. В. Костяков

Государственное бюджетное учреждение «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи имени И. И. Джанелидзе», Санкт-Петербург, Россия

Поступила в редакцию 13.05.20 г.; принята к печати 07.10.20 г.

**ЦЕЛЬ.** Разработать методику прогнозирования летального исхода у пострадавших с ожоговой травмой с использованием методов регрессионного анализа.

**МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ.** Проведен анализ результатов лечения 330 обожженных с шокогенной травмой, госпитализированных в отделение анестезиологии и реанимации отдела термических поражений ГБУ «СПбНИИ СП им. И. И. Джанелидзе» в период 2013–2019 гг.

**РЕЗУЛЬТАТЫ.** В ходе исследования выделено 52 показателя, характеризующих состояние пострадавшего с ожоговой травмой в динамике лечебных мероприятий. Для разработки прогностического алгоритма использованы только статистически значимые параметры ( $p < 0,05$ ), которые были применены для построения модели логистической регрессии. В итоговый алгоритм вошли 18 предикторов. Данный метод позволяет спрогнозировать положительный исход лечения и вероятность летального исхода с точностью в 93 и 87 % соответственно.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Использование многофакторной математической модели позволило разработать методику прогнозирования летального исхода, учитывающую особенности патогенеза ожоговой болезни и принципы лечебных мероприятий в первые трое суток после получения травмы. Применение линейного регрессионного анализа с использованием новых показателей термической травмы на ретроспективной когорте из 330 пациентов позволило достичь высокого показателя предиктивности.

**Ключевые слова:** ожоги, прогноз, логистическая регрессия, патогенез, ожоговая болезнь, летальный исход

**Для цитирования:** Заворотний 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. DOI: 10.24884/0042-4625-2020-179-5-21-29.

**Автор для связи:** Олег Олегович Заворотний, ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И. И. Джанелидзе», 192242, Россия, Санкт-Петербург, ул. Будапештская, д. 3, лит. А. E-mail: o.zavorotniy@hotmail.com.

## PREDICTING FOR MORTALITY RATE USING REGRESSION ANALYSIS IN PATIENT WITH BURN INJURY

Oleg O. Zavorotniy\*, Evgeny V. Zinoviev, Denis V. Kostyakov

Saint-Petersburg I. I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine, Saint Petersburg, Russia

Received 13.05.20; accepted 07.10.20

The **OBJECTIVE** was to develop a methodology for predicting death in patients with burn injury using regression analysis methods.

**METHODS AND MATERIALS.** The analysis of the results of treatment of 330 burned with a shock injury, hospitalized in the Department of Anesthesiology and Resuscitation of the Department of Thermal Lesions of Saint-Petersburg I. I. Dzhanelidze research institute of emergency medicine in the period 2013–2019.

**RESULTS.** In the course of the study, 52 indicators were identified that characterized the condition of the victim with burn injury in the dynamics of treatment measures. To build a predictive model, only statistically significant parameters ( $p < 0.05$ ) were used, which were used to build a model of logistic regression. The final algorithm included 18 predictors. The model allows predicting a positive outcome of treatment and the likelihood of a fatal outcome with an accuracy of 93 and 87 % respectively.

**CONCLUSION.** The use of a multivariate mathematical model made it possible to develop a method for predicting a fatal outcome, taking into account the peculiarities of the pathogenesis of burn disease and the principles of therapeutic

tic measures in the first three days after injury. The use of linear regression analysis using new indicators of thermal injury in a retrospective cohort of 330 patients allowed us to achieve a high predictive value.

**Keywords:** burns, prognosis, logistic regression, pathogenesis, burn disease, lethal outcome

**For citation:** Zavorotniy O. O., Zinoviev E. V., Kostyakov D. V. Predicting for mortality rate using regression analysis in patient with burn injury. *Grekov's Bulletin of Surgery*. 2020;179(5):21–29. (In Russ.). DOI: 10.24884/0042-4625-2020-179-5-21-29.

\* **Corresponding author:** Oleg O. Zavorotniy, Saint-Petersburg I. I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine, 3, Budapeshtskaya str., Saint Petersburg, 192242, Russia. E-mail: o.zavorotniy@hotmail.com.

**Введение.** Ожоговые поражения являются важной медицинской и социальной проблемой. По данным ВОЗ [1], в мире ожоги занимают 3-е место в структуре общего травматизма. В нашей стране ежегодно регистрируется около 400–500 тысяч пострадавших с ожогами кожи различной локализации и глубины. Однако общее число обожженных значительно выше, так как многие из них не обращаются за медицинской помощью, расценивая полученную травму как незначительную. При этом результаты самостоятельного лечения в большинстве случаев являются неудовлетворительными. Несмотря на совершенствование технологий терапии пострадавших с ожогами и улучшение оснащения медицинских учреждений, показатель летальности среди обожженных остается высоким и не имеет тенденции к снижению, достигая 6,9 % [2].

В настоящее время разработано множество методик, позволяющих оценить вероятность летального исхода у пациентов с обширными глубокими ожогами кожи, обладающих различной степенью достоверности. К наиболее известным относятся следующие модели: Baux, ABSI, Rayn, McGwin, Belgian Outcome of Burn Injury (BOBI) [3–5]. Отечественными специалистами, углубленно занимающимися данной проблемой, являются С. А. Петрачков, А. В. Матвеев, Д. М. Коротких, Э. Я. Фисталь и др. [6, 7]. Существуют также международные шкалы, оценивающие общее состояние больного, опираясь на жизненные показатели: Acute Physiology and Chronic Health Evaluation (APACHE II III), SOFA, Simplified Acute Physiology Score (SAPS) [8, 9]. Однако зачастую они основаны на определении изолированных параметров тяжести травмы и не учитывают специфические характеристики, свойственные ожоговому поражению, в том числе динамику лабораторных данных на фоне проводимой интенсивной терапии.

Проблема раннего прогнозирования вероятности летального исхода у пациентов с обширными глубокими ожогами кожи остаются предметом дискуссий комбустиологов на представительных научных форумах. Параметры, оказывающие достоверное влияние на исход травмы, и их прогностическая значимость изучены недостаточно, а существующие модели не обладают должным уровнем предиктивности. Разработка высокоточной методики определения вероятности летального исхода у тяжелообожженных, учитывающей

особенности патогенеза и лечения ожоговой травмы, является актуальной задачей хирургии.

**Методы и материалы.** Работа выполнена на основании анализа результатов лечения 330 пациентов с обширными глубокими ожогами кожи, госпитализированных в отделение анестезиологии и реанимации отдела термических поражений ГБУ «СПбНИИ СП им. И. И. Джанелидзе» в период 2013–2019 гг. Результаты исследования доступной литературы позволили выделить 52 показателя, отражающих динамику состояния пострадавшего с ожоговой травмой. Все они были разделены на 4 группы:

1) входящие данные: возраст, площадь и глубина ожога, наличие ингаляционной травмы и алкогольного опьянения, отравление угарным газом, отсрочка оказания медицинской помощи;

2) лабораторные показатели: параметры клинического, биохимического анализов крови, ее газового состава, а также коагулограммы и клинического анализа мочи;

3) результаты инструментальных исследований: артериальное давление, пульс, температура тела в 1-е сутки госпитализации;

4) особенности лечебных мероприятий и их эффективность в первые 3-е суток госпитализации: параметры инфузионной терапии, количество выпитой воды и диурез в первые 3 дня стационарного лечения.

**План статистического анализа.** Данные были проанализированы с использованием статистического языка программирования R, при этом значение  $p < 0,05$  считалось статистически значимым. Дескриптивные статистики представлены как ((среднее  $\pm$  стандартное) отклонение). В качестве метода построения модели, предсказывающей вероятность летального исхода, нами была выбрана логистическая регрессия с пошаговым исключением, которая является наиболее подходящей для получения интерпретируемого алгоритма расчета. С целью предварительного отбора переменных мы провели их сравнительный анализ с помощью  $t$ -критерия Стьюдента для независимых выборок. Параметрическая статистика была выбрана в связи с тем, что обработка данных с помощью критерия Колмогорова – Смирнова показала, что большинство исследуемых переменных подчиняются закону нормального распределения. Допустимость применения данного критерия также обосновывается размером выборки, принадлежностью исследуемых переменных к количественным шкалам, а также наличием механизма пошагового исключения переменных при расчете логистической модели, который позволяет провести дополнительный отбор переменных для повышения ее качества.

Сравнительный анализ с помощью  $t$ -критерия Стьюдента для независимых выборок был произведен между выжившими и умершими пациентами. В модель, предсказывающую вероятность летального исхода, были взяты только те переменные, по которым данные группы различались статистически значимо ( $p < 0,05$ ).

Качество полученной модели определяли с помощью четырехпольной таблицы сопряженности, ROC-анализа и показателя AUC.

Таблица 1

## Шкала значений AUC, отражающая качество модели

Table 1

AUC scale reflecting model quality	
AUC	Качество модели
0,9–1,0	Отличное
0,8–0,9	Высокое
0,7–0,8	Хорошее
0,6–0,7	Среднее
0,5–0,6	Неудовлетворительное

ROC-анализ представляет собой графический метод оценки качества работы бинарного классификатора и выбора дискриминационного порога для разделения классов. В основе метода лежит построение ROC-кривой.

Показатель AUC является мерой валидности скринингового теста, а также предназначен для сравнительного анализа нескольких алгоритмов. AUC теоретически изменяется от 0 до 1, но, поскольку модель всегда характеризуется кривой, расположенной выше положительной диагонали, то обычно говорят об изменениях от 0,5 («бесполезный» классификатор) до 1 («идеальная» модель). Эта оценка может быть получена непосредственно вычислением площади под ROC-кривой. Шкала значений AUC, отражающая качество модели, приведена в *табл. 1*.

Для обработки и систематизации эмпирических данных был проведен описательный статистический анализ.

### Результаты. Дескриптивные статистики.

На основании результатов дескриптивной обработки данных было выявлено, что число выздоровевших пациентов составило 178, а пострадавших с летальным исходом – 152. Средний возраст пациентов по всей выборке равен (52,8±19,0) года. При этом средний возраст в группе пациентов с летальным исходом – (61,3±20,2) года – выше, по сравнению с возрастом пациентов в группе выздоровевших – (47,8±16,3) года. Средняя величина площади поверхностного ожога по всей выборке составила (32,5±19,4) % поверхности тела (% п. т.); по пациентам с летальным исходом – (40,3±21,1); по выздоровевшим – (28±16,8). Средняя величина площади глубокого ожога у пациентов при поступлении составила (14,9±16,2) % п. т. При этом у пострадавших с летальным исходом площадь глубокого поражения – (25,4±19,9) – выше, по сравнению с группой с благоприятным исходом лечения – (8,7±9,0). В *табл. 2* приведены дескриптивные статистики по всей выборке пациентов.

*Модель прогнозирования летальности при термической травме.* Отбор переменных для модели прогнозирования летального исхода при термической травме был реализован с помощью выявления статистически значимых различий между умершими и выписанными пациентами по t-критерию Стьюдента для независимых выборок, приведенных в *табл. 3*.

В результате проведенного сравнительного анализа было установлено, что значимые различия между выздоровевшими и умершими пациентами существуют по возрасту ( $t=-5,82$  при  $p=0,00$ ),

площади (% п. т.) поверхностного ожога при поступлении ( $t=-5,09$  при  $p=0,00$ ), площади (% п. т.) глубокого ожога при поступлении ( $t=-8,06$  при  $p=0,00$ ), частоте сердечных сокращений ( $t=-2,68$  при  $p=0,01$ ), сегментоядерным лейкоцитам ( $t=-2,04$  при  $p=0,04$ ), тромбоцитам ( $t=-3,76$  при  $p=0,00$ ), ширине распределения эритроцитов по объему ( $t=-4,09$  при  $p=0,00$ ), ширине распределения эритроцитов относительно среднего объема ( $t=-4,10$  при  $p=0,00$ ), СОЭ ( $t=-2,75$  при  $p=0,01$ ), С-реактивному белку ( $t=-2,30$  при  $p=0,02$ ), концентрации мочевины ( $t=-4,77$  при  $p=0,00$ ), уровню креатинина ( $t=-3,95$  при  $p=0,00$ ), АСТ ( $t=-3,29$  при  $p=0,00$ ), АЛТ ( $t=-2,00$  при  $p=0,05$ ), показателю общего билирубина ( $t=-3,39$  при  $p=0,00$ ), глюкозе крови ( $t=-3,34$  при  $p=0,00$ ), а также уровню натрия ( $t=-2,70$  при  $p=0,01$ ) и калия ( $t=-2,45$  при  $p=0,02$ ). Данные показатели выше в группе пациентов с летальным исходом.

Также в группе умерших значимо выше протромбиновое время ( $t=-2,67$  при  $p=0,01$ ), FiO<sub>2</sub> ( $t=-2,51$  при  $p=0,01$ ), концентрация лейкоцитов ( $t=-3,69$  при  $p=0,00$ ), эритроцитов ( $t=-3,63$  при  $p=0,00$ ), белка ( $t=-2,92$  при  $p=0,00$ ) и лактата ( $t=-4,93$  при  $p=0,00$ ). Количество выпитой воды в 1-е сутки ( $t=-3,14$  при  $p=0,00$ ), объем инфузионной терапии в 1-е ( $t=-3,40$  при  $p=0,00$ ), 2-е ( $t=-7,12$  при  $p=0,00$ ) и 3-и сутки госпитализации ( $t=-6,19$  при  $p=0,00$ ) также выше в группе пациентов с летальным исходом.

В группе пострадавших с благоприятным исходом лечения значимо выше такие показатели, как температура тела ( $t=5,70$  при  $p=0,00$ ), концентрация гемоглобина в 1-е сутки ( $t=2,43$  при  $p=0,02$ ), средняя концентрация гемоглобина в эритроците ( $t=3,87$  при  $p=0,00$ ), концентрация общего белка ( $t=5,74$  при  $p=0,00$ ), BE ( $t=4,50$  при  $p=0,00$ ), pH мочи ( $t=5,48$  при  $p=0,00$ ), объем выпитой воды на 3-й день госпитализации ( $t=2,41$  при  $p=0,02$ ). Также в группе выздоровевших пациентов повышен диурез в 1-е ( $t=4,64$  при  $p=0,00$ ), 2-е ( $t=6,86$  при  $p=0,00$ ) и 3-и сутки наблюдения ( $t=6,08$  при  $p=0,00$ ). Переменные, приведенные в *табл. 3*, были взяты нами для построения модели логистической регрессии. Полученная модель показана в *табл. 4*.

В результате проведенной логистической регрессии было установлено, что к предикторам,

Таблица 2

## Дескриптивные статистики по выборке пациентов

Table 2

## Descriptive statistics for a sample of patients

Показатель	Все	Выздоровевшие	Летальный исход
Возраст, лет	(52,8±19,0)	(47,8±16,3)	(61,3±20,2)
Площадь поверхностного ожога, % п. т.	(32,5±19,4)	(28±16,8)	(40,3±21,1)
Площадь глубокого ожога, % п. т.	(14,9±16,2)	(8,7±9,0)	(925,4±19,9)
Отсрочка лечения, ч	(35±112,7)	(37,1±128,3)	(31,5±79,6)
Температура тела, °С	(36,2±1,2)	(36,6±1,0)	(35,7±1,3)
Артериальное давление систолическое, мм рт. ст.	(137,6±24,5)	(138,7±21,9)	(135,8±28,3)
Артериальное давление диастолическое, мм рт. ст.	(79,6±12,1)	(80,7±11,1)	(77,8±13,4)
Частота сердечных сокращений/мин	(94±14,9)	(92,1±13,2)	(97,3±17,1)
Частота дыхательных движений/мин	(18,1±5,0)	(18,1±5,6)	(18,2±3,7)
Фибробронхоскопия (степень ингаляционной травмы)	(1,3±1,2)	(1,2±1,2)	(1,4±1,3)
Концентрация СО в крови, %	(13,7±11,5)	(13,9±11,7)	(13,4±11,2)
Концентрация этанола в крови, г/л	(0,6±1,1)	(0,7±1,2)	(0,5±1,1)
Концентрация этанола в моче, г/л	(0,8±1,4)	(0,9±1,4)	(0,6±1,3)
Гемоглобин крови, г/л	(146,2±22,5)	(148,8±20,3)	(141,7±25,4)
Содержание крупных тромбоцитов, %	(32±15,2)	(32,3±18,1)	(31,5±7,9)
Средний объем тромбоцитов, фл.	(11±4,8)	(10,7±1,0)	(11,5±7,8)
Нейтрофилы, абсолютный показатель, 10 <sup>9</sup> /л	(12,2±5,7)	(12±5,0)	(12,6±6,8)
Сегментоядерные нейтрофилы, %	(71,7±12,7)	(70,5±12,5)	(73,7±12,7)
Палочкоядерные нейтрофилы, %	(10,2±9,6)	(10,5±10,0)	(9,7±8,8)
Эритроциты (ЭЦ) в крови, 10 <sup>12</sup> /л	(4,7±0,8)	(4,7±0,7)	(4,6±0,9)
Тромбоциты (ТЦ) в крови, 10 <sup>9</sup> /л	(241,8±126,6)	(218,2±97,9)	(282,3±157)
Лейкоциты в крови, 10 <sup>9</sup> /л	(14,8±6,3)	(14,7±5,5)	(15±7,6)
Лимфоциты, абсолютный показатель, 10 <sup>9</sup> /л	(1,7±1,8)	(1,7±1,7)	(1,7±2,0)
Лимфоциты, %	(11,5±7,5)	(11,6±7,4)	(11,3±7,8)
Эозинофилы в крови, 10 <sup>9</sup> /л	(0,1±0,2)	(0,1±0,2)	(0,1±0,3)
Моноциты в крови, 10 <sup>9</sup> /л	(1±0,7)	(1±0,6)	(1±0,8)
Гематокрит, %	(42,1±6,2)	(42,4±5,7)	(41,6±7,1)
Среднее содержание гемоглобина в ЭЦ, пг	(31,5±3,4)	(31,6±3,2)	(31,3±3,6)
Средняя концентрация гемоглобина в ЭЦ, г/дл	(348±21,9)	(351,8±20,8)	(341,4±22,3)
Индекс распределения тромбоцитов, фл.	(14,3±4,0)	(14±2,8)	(14,8±5,4)
Индекс распределения ЭЦ по объему, фл.	(47,8±7,5)	(46,4±6,9)	(50,3±7,9)
Индекс распределения эритроцитов относительно среднего объема, %	(14,7±2,1)	(14,3±1,9)	(15,4±2,3)
Нейтрофилы в крови, %	(79,7±12,4)	(78,8±14)	(81,1±9,1)
Скорость оседания эритроцитов (СОЭ), мм/ч	(17,2±17,2)	(14,9±14,6)	(21,1±20,3)
Общий белок в крови, г/л	(62±12)	(65,3±9,6)	(56,5±13,6)
С-реактивный белок, мг/л	(57,6±74,7)	(35,1±54,2)	(88,7±88,4)
Альбумин в крови, г/л	(32,9±6,9)	(33,8±6,3)	(29,4±8,5)
Мочевина в крови, ммоль/л	(6,6±4,8)	(5,5±3,6)	(8,5±5,8)
Креатинин в крови, мкмоль/л	(91,6±57,1)	(79,5±29,6)	(112,4±81,9)
Аспаратаминотрансфераза в крови, Ед/л	(91±193,8)	(55,1±71,3)	(152,4±296,1)
Аланинаминотрансфераза в крови, Ед/л	(54,5±133,2)	(39,7±68,1)	(80±198,6)
Общий билирубин, мкмоль/л	(13,7±9,2)	(12,2±7,9)	(16,3±10,7)
Глюкоза в крови, ммоль/л	(7,9±3,4)	(7,4±3,1)	(8,8±3,7)



Окончание табл. 2

End of table 2

Показатель	Все	Выздоровевшие	Летальный исход
Натрий в крови, ммоль/л	(141,1±6,6)	(140,2±5,2)	(142,7±8,3)
Калий в крови, ммоль/л	(4,2±0,7)	(4,1±0,5)	(4,4±0,9)
Протромбиновое время, с	(14,5±2,2)	(14,2±1,7)	(15±2,8)
Протромбиновая активность по Квику, с	(87,1±18,6)	(88,7±16,2)	(84,5±21,9)
Активированное частичное тромбопластиновое время (АЧТВ), с	(31,8±15,5)	(32,8±18,3)	(30±8,8)
МНО (Международное нормализованное отношение)	(1,2±1,6)	(1,1±0,2)	(1,4±2,6)
PO <sub>2</sub> , мм рт. ст.	(40,1±10,9)	(40,6±10,9)	(39,2±11)
BE, ммоль/л	(-6±7,3)	(-4,4±5,2)	(-8,8±9,3)
PCO <sub>2</sub> , мм рт. ст.	(42,6±10,6)	(41,5±7,5)	(44,4±14,3)
FiO <sub>2</sub> (концентрация кислорода во вдыхаемом воздухе), %	(31,2±14,9)	(29,5±15,0)	(34±14,4)
Относительная плотность мочи	(1±0)	(1±0)	(1±0)
pH мочи	(5,8±0,8)	(6±0,8)	(5,4±0,8)
Глюкоза в моче, ммоль/л	(7,2±15,3)	(5,9±13,9)	(9,5±17,2)
Лейкоциты в моче, шт. в поле зрения	(0,5±1,2)	(0,2±0,8)	(0,8±1,5)
Эритроциты в моче, шт. в поле зрения	(1±1,7)	(0,7±1,4)	(1,5±1,9)
Белок в моче, г/л	(0,4±1,0)	(0,3±0,6)	(0,7±1,3)
Лактат в крови, ммоль/л	(3,4±2)	(2,9±1,6)	(4,2±2,4)
1-й день, инфузия, л	(7,3±4,2)	(6,6±3,5)	(8,5±4,9)
Диурез в 1-е сутки, л	(1,9±1,5)	(2,2±1,6)	(1,4±1,3)
2-й день, инфузия, л	(6,2±3,9)	(5±3,1)	(8,4±4,2)
Диурез во 2-е сутки, л	(3,6±2,2)	(4,1±2,4)	(2,5±1,5)
3-й день, инфузия, л	(4,3±2,9)	(3,5±2,2)	(5,7±3,3)
Диурез в 3-и сутки, л	(3,3±2,0)	(3,8±2,0)	(2,4±1,8)
Выпито воды в 1-е сутки, л	(1,1±0,9)	(1±0,9)	(1,4±0,8)
Выпито воды во 2-е сутки, л	(1,9±0,4)	(1,9±0,3)	(1,8±0,6)
Выпито воды в 3-и сутки, л	(1,9±0,5)	(2±0,2)	(1,8±0,7)

повышающим вероятность летального исхода, относятся возраст пациента ( $Z=3,14$ ,  $p=0,00$ ), площадь (% п. т.) глубокого ожога ( $Z=1,79$ ;  $p=0,07$ ), уровень сегментоядерных лейкоцитов ( $Z=1,79$ ,  $p=0,07$ ), концентрация мочевины ( $Z=1,93$ ,  $p=0,05$ ) и лактата в крови ( $Z=3,79$ ,  $p=0,00$ ), концентрация лейкоцитов ( $Z=2,56$ ,  $p=0,01$ ) и белка ( $Z=1,48$ ,  $p=0,14$ ) в моче, а также объем инфузионной терапии на 3-и сутки госпитализации ( $Z=5,00$ ,  $p=0,00$ ) и количество выпитой воды в 1-й день лечения ( $Z=2,57$ ,  $p=0,01$ ).

К предикторам, снижающим вероятность летального исхода, относятся температура тела ( $Z=-1,65$ ,  $p=0,10$ ), концентрация общего белка ( $Z=-2,01$ ,  $p=0,04$ ) и креатинина ( $Z=-2,29$ ,  $p=0,02$ ) в крови, FiO<sub>2</sub> ( $Z=-2,07$ ,  $p=0,04$ ), pH мочи ( $Z=-3,41$ ,  $p=0,00$ ), количество выпитой воды на 3-й день лечения ( $Z=-3,27$ ,  $p=0,00$ ), а также диурез в 1-е ( $Z=-1,77$ ,  $p=0,08$ ), 2-е ( $Z=-2,88$ ,  $p=0,00$ ) и 3-и ( $Z=-1,61$ ,  $p=0,11$ ) сутки госпитализации.

Коэффициенты при показателях «площадь (% п. т.) глубокого ожога», «температура тела», «количество сегментоядерных лейкоцитов», «концентрация белка в моче», «диурез в 1-е и 2-е сутки госпитализации» статистически значимо не отличаются от нуля, однако

исключение этих переменных снижает качество методики прогнозирования. Таким образом, в итоговую модель вошли 18 предикторов.

Показатели точности данной модели, при отсечке вероятности смерти в 50 %, представлены в четырехпольной таблице сопряженности (табл. 5).

Согласно данным, приведенным в табл. 5, можно заключить, что данная модель позволяет прогнозировать вероятность выздоровления и летального исхода с точностью в 93 и 87 % соответственно. Несоответствие, полученное в результате работы модели и исхода лечения, составили 20 пациентов с летальным исходом и 13 пострадавших, выписанных из стационара.

ROC-кривая, показанная на рисунке, отражает точность предсказания смерти с разными значениями отсечки.

AUC (площадь под кривой) равна 0,97. Таким образом, данная модель с высокой точностью предсказывает вероятность смерти от термической травмы и может быть использована для коррекции проводимой интенсивной терапии на ранних этапах оказания медицинской помощи.

Таблица 3

Статистически значимые различия между умершими и выписанными по t-критерию Стьюдента

Table 3

Statistically significant differences between the deceased and those discharged by Student's t-test

Переменная	t-тест	p-значение	Среднее по выписанным	Среднее по умершим
Возраст, лет	–5,82	0,00**	(47,8±16,3)	(61,3±20,2)
Площадь поверхностного ожога, % п. т.	–5,09	0,00**	(28±16,8)	(40,3±21,1)
Площадь глубокого ожога, % п. т.	–8,06	0,00**	(8,7±9,0)	(25,4±19,9)
Температура тела, °C	5,70	0,00**	(36,6±1,0)	(35,7±1,3)
Частота сердечных сокращений/мин	–2,68	0,01**	(92,1±13,2)	(97,3±17,1)
Гемоглобин в крови, г/л	2,43	0,02*	(148,8±20,3)	(141,7±25,4)
Сегментоядерные нейтрофилы, %	–2,04	0,04*	(70,5±12,5)	(73,7±12,7)
Тромбоциты в крови, 10 <sup>9</sup> /л	–3,76	0,00**	(218,2±97,9)	(282,3±157,0)
Средняя концентрация гемоглобина в ЭЦ, г/дц	3,87	0,00**	(351,8±20,8)	(341,4±22,3)
Индекс распределения ЭЦ по объему, фл	–4,09	0,00**	(46,4±6,9)	(50,3±7,9)
Индекс распределения эритроцитов относительно среднего объема, %	–4,10	0,00**	(14,3±1,9)	(15,4±2,3)
Скорость оседания эритроцитов, мм/ч	–2,75	0,01**	(14,9±14,6)	(21,1±20,3)
Общий белок в крови, г/л	5,74	0,00**	(65,3±9,6)	(56,5±13,6)
C-реактивный белок, мг/л	–2,30	0,02*	(35,1±54,2)	(88,7±88,4)
Мочевина, ммоль/л	–4,77	0,00**	(5,5±3,6)	(8,5±5,8)
Креатинин, мкмоль/л	–3,95	0,00**	(79,5±29,6)	(112,4±81,9)
Аспартатаминотрансфераза в крови, Ед/л	–3,29	0,00**	(55,1±71,3)	(152,4±296,1)
Аланинаминотрансфераза в крови, Ед/л	–2,00	0,05*	(39,7±68,1)	(80±198,6)
Общий билирубин в крови, мкмоль/л	–3,39	0,00**	(12,2±7,9)	(16,3±10,7)
Глюкоза в крови, ммоль/л	–3,34	0,00**	(7,4±3,1)	(8,8±3,7)
Натрий в крови, ммоль/л	–2,70	0,01**	(140,2±5,2)	(142,7±8,3)
Калий в крови, ммоль/л	–2,45	0,02*	(4,1±0,5)	(4,4±0,9)
Протромбиновое время, с	–2,67	0,01**	(14,2±1,7)	(15,0±2,8)
ВЕ, ммоль/л	4,50	0,00**	(–4,4±5,2)	(–8,8±9,3)
FiO <sub>2</sub> , %	–2,51	0,01*	(29,5±15)	(34±14,4)
pH мочи	5,48	0,00**	(6,0±0,8)	(5,4±0,8)
Лейкоциты в моче (в поле зрения)	–3,69	0,00**	(0,2±0,8)	(0,8±1,5)
Эритроциты в моче (в поле зрения)	–3,63	0,00**	(0,7±1,4)	(1,5±1,9)
Белок в моче, г/л	–2,92	0,00**	(0,3±0,6)	(0,7±1,3)
Лактат в крови, ммоль/л	–4,93	0,00**	(2,9±1,6)	(4,2±2,4)
1-й день, инфузия, л	–3,40	0,00**	(6,6±3,5)	(8,5±4,9)
Диурез в 1-е сутки, л	4,64	0,00**	(2,2±1,6)	(1,4±1,3)
2-й день, инфузия, л	–7,12	0,00**	(5,0±3,1)	(8,4±4,2)
Диурез во 2-е сутки, л	6,86	0,00**	(4,1±2,4)	(2,5±1,5)
3-й день, инфузия, л	–6,19	0,00**	(3,5±2,2)	(5,7±3,3)
Диурез в 3-и сутки, л	6,08	0,00**	(3,8±2,0)	(2,4±1,8)
Выпито воды в 1-е сутки, л	–3,14	0,00**	(1,0± 0,9)	(1,4±0,8)
Выпито воды в 3-и сутки, л	2,41	0,02*	(2,0±0,2)	(1,8±0,7)

\* – различия значимы на уровне 0,01; \*\* – различия значимы на уровне 0,05.

В результате статистического анализа была разработана формула расчета вероятности летального исхода для использования данного алгоритма в лечебно-профилактическом учреждении.

*Формула для расчета.* Расчет производится в два этапа.

На первом этапе коэффициенты модели умножаются на значения предикторов по конкретному пациенту. Затем полученные значения прибавляются к константе. В итоге мы получаем натуральный логарифм шанса летального исхода ( $L$ ).

Таблица 4

Модель логистической регрессии, предсказывающая вероятность летального исхода от термической травмы

Table 4

Logistic regression model predicting the likelihood of death from thermal injury

Переменная	Коэффициент модели	Стандартная ошибка коэффициента	z-значение	p-значение
Intercept	24,00	11,50	2,09	0,04*
Возраст, лет	0,04	0,01	3,14	0,00**
Площадь глубокого ожога, % п. т.	0,04	0,02	1,79	0,07
Температура тела, °C	−0,47	0,29	−1,65	0,10
Сегментоядерные нейтрофилы, %	0,04	0,02	1,79	0,07
Общий белок в крови, г/л	−0,05	0,02	−2,01	0,04*
Мочевина в крови, ммоль/л	0,14	0,07	1,93	0,05*
Креатинин в крови, ммоль/л	−0,02	0,01	−2,29	0,02*
FiO <sub>2</sub> , %	−0,05	0,02	−2,07	0,04*
pH мочи	−1,14	0,33	−3,41	0,00**
Лейкоциты в моче (в поле зрения)	0,57	0,22	2,56	0,01**
Белок в моче, г/л	0,79	0,54	1,48	0,14
Лактат в крови, ммоль/л	0,55	0,14	3,79	0,00**
Диурез в 1-е сутки, л	−0,45	0,25	−1,77	0,08
Диурез во 2-е сутки, л	−0,54	0,19	−2,88	0,00**
3-й день, инфузия, л	0,57	0,11	5,00	0,00**
Диурез в 3-и сутки, л	−0,28	0,17	−1,61	0,11
Выпито воды в 1-е сутки, л	0,81	0,32	2,57	0,01**
Выпито воды в 3-и сутки, л	−2,29	0,70	−3,27	0,00**

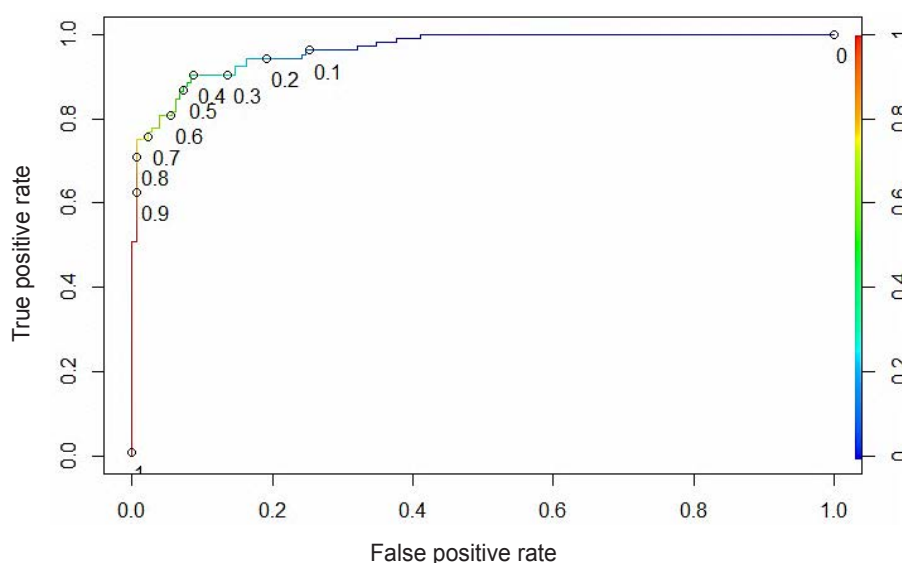
Таблица 5

Четырехпольная таблица сопряженности для оценки точности предсказаний модели

Table 5

Four-field contingency table for assessing the accuracy of model predictions

Исход	Выписан (прогнозируемая), n	Смерть (прогнозируемая), n	Точность модели, %
Выписан	165	13	93
Смерть	20	132	87



ROC-кривая разработанной модели  
ROC curve designed by model

$$L = 24,00 + 0,04 \cdot [\text{возраст}] + 0,04 \cdot [\text{глубокий ожог}] - 0,47 \cdot [T_{\text{тела}}] + 0,04 \cdot [\text{сегментоядерные нейтрофилы}] - 0,05 \cdot [\text{общий белок}] + 0,14 \cdot [\text{мочевина}] - 0,02 \cdot [\text{креатинин}] - 0,05 \cdot [\text{FiO}_2] - 1,14 \cdot [\text{pH мочи}] + 0,57 \cdot [\text{лейкоциты в моче}] + 0,79 \cdot [\text{белок в моче}] + 0,55 \cdot [\text{лактат венозной крови}] + 0,45 \cdot [\text{диурез в 1-е сутки}] - 0,54 \cdot [\text{диурез во 2-е сутки}] + 0,57 \cdot [\text{инфузия в 3-и сутки}] - 0,28 \cdot [\text{диурез в 3-и сутки}] + 0,81 \cdot [\text{выпито воды в 1-е сутки}] - 2,29 \cdot [\text{выпито воды в 3-и сутки}].$$

Далее над логарифмом шанса осуществляем преобразование в вероятность (Prob) по следующей формуле:

$$\text{Prob} = \frac{e^L}{e^L + 1},$$

где  $e$  – основание натурального логарифма.

Для упрощенного формата вычисления формула была внесена в программу «Excel».

Учитывая литературные и клинические данные, а также алгоритм, полученный при расчете, рекомендуется проводить прогнозирование в 1-е сутки поступления пациента в стационар для коррекции инфузионной терапии, а также на 3-и сутки для постановки высокоточного прогноза летальности для каждого конкретного пациента.

При повышении показателя летального исхода, равного 80–90 % и более, для каждого пациента рекомендуется корректировать терапию и хирургическую тактику, опираясь на лабораторные показатели и результаты инструментальных исследований, использованных в алгоритме данной модели.

**Обсуждение.** Результаты исследования демонстрируют высокий показатель прогностичности разработанной модели. Использование данного метода в практической деятельности специалистов, занимающихся лечением ожоговых поражений, позволит объективно и точно оценивать вероятность летального исхода у пациентов с шокогенной травмой на ранних этапах оказания медицинской помощи. В ходе анализа параметров, которые используются в других методах (Baugh, ABSI, Raun, McGwin, BOBI), было установлено, что в большинстве существующих шкал учитываются лишь показатели общей площади (% п. т.) и глубины ожога, возраста, тяжести ингаляционной травмы. Разработанная модель основывается на расширенных средствах диагностики, доступных в отделениях интенсивной терапии, учитывая при этом основные звенья патогенеза ожоговой болезни. Она не требует больших временных затрат и высокой квалификации врача.

**Выводы.** 1. Использование многофакторной математической модели позволило разработать методику прогнозирования летального исхода, учитывающую особенности патогенеза ожоговой болезни и принципы лечебных мероприятий в 1-е сутки после получения травмы.

2. Применение линейного регрессионного анализа с использованием новых показателей термической травмы на ретроспективной когорте из 330 пациентов позволило достичь высокого показателя предиктивности.

#### Конфликт интересов

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

#### Соответствие нормам этики

Авторы подтверждают, что соблюдены права людей, принимавших участие в исследовании, включая получение информированного согласия в тех случаях, когда оно необходимо, и правила обращения с животными в случаях использования в работе. Подробная информация содержится в Правилах для авторов.

#### Compliance with ethical principles

The authors confirm that they respect the rights of the people participated in the study, including obtaining informed consent when it is necessary, and the rules of treatment of animals when they are used in the study. Author Guidelines contains the detailed information.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Всемирная организация здравоохранения. Ожоги. 2018. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/burns> (дата обращения: 20.07.2020).
2. Евдокимов В. И., Коуров А. С. Генезис научных исследований по ожоговой травме (анализ отечественных журнальных статей в 2005–2017 гг.) // Медико-биол. и соц.-психол. проблемы безопасности в чрезвычайн. ситуациях. 2018. № 4. С. 108–120.
3. Hussain A., Dunn K. Burn related mortality in Greater Manchester : 11-year review of Regional Coronal Department Data // Burns. 2015. № 41. P. 225–234.
4. Predicting Mortality in Severe Burns – What Is the Score? : Evaluation and Comparison of 4 Mortality Prediction Scores in an Irish Population / F. Jack, C. Woods, C. S. Quinlan, O. P. Shelley // Plastic and Reconstructive Surgery. 2016. № 4. P. 606.
5. Douglas H. E., Ratcliffe A., Sandhu R. Comparison of mortality prediction models in burns ICU patients in Pinderfields Hospital over 3 years // Burns. 2015. № 41. P. 49–52.
6. Матвеев А. В. Прогнозирование исхода термических ожогов // Вестн. хир. им. И. И. Грекова. 2009. Т. 168, № 6. С. 101–104.
7. Фисталь Э. Я., Гурьянов В. Г., Солошенко В. В. Математическая модель прогнозирования исхода у пострадавших при взрывах метано-угольной смеси // Неотлож. мед. помощь : Журн. им. Н. В. Склифосовского. 2016. № 3. С. 43–47.
8. External validation of clinical prediction models using big datasets from e-health records or IPD meta-analysis: opportunities and challenges / R. D. Riley, J. Ensor, K. I. Snell, T. P. Debray // BJM. 2016. № 41. P. 353. Doi: 10.1136/bmj.i3140.
9. Pantet O., Faouzi M., Brusselaers N. et al. Comparison of mortality prediction models and validation of SAPS II in critically ill burns patients // Ann. Burns Fire Disasters. 2016. № 41. P. 123.

#### REFERENCES

1. World Health Organization. Burns. 2018. Available at: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/burns> (accessed: 20.07.2020). (In Russ.).
2. Evdokimov V. I., Kourov A. S. Genesis of scientific research on burn injury (analysis of domestic journal articles in 2005–2017). Medico-biological and socio-psychological problems of safety in emergency situations. 2018;4:108–120. (In Russ.).
3. Hussain A., Dunn K. Burn related mortality in Greater Manchester: 11-year review of Regional Coronal Department Data. Burns. 2015;41: 225–234.



4. Jack F., Woods C., Quinlan C. S., Shelley O. P. Predicting Mortality in Severe Burns – What Is the Score?: Evaluation and Comparison of 4 Mortality Prediction Scores in an Irish Population. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2016;4:606.
5. Douglas H. E., Ratcliffe A., Sandhu R. Comparison of mortality prediction models in burns ICU patients in Pinderfields Hospital over 3 years. *Burns*. 2015;41:49–52.
6. Matveenko A. V. Predicting the outcome of thermal burns. *Grekov's Bulletin of Surgery*. 2009;168(6):101–104. (In Russ.).
7. Fistal E. Ya., Guryanov V. G., Soloshenko V. V. Mathematical model of predicting the outcome in victims of methane-coal mixture explosions. *Russian Sklifosovsky Journal «Emergency Medical Care»*. 2016;3:43–47. (In Russ.).
8. Riley R. D., Ensor J., Snell K. I., Debray T. P. External validation of clinical prediction models using big datasets from e-health records or IPD meta-analysis: opportunities and challenges. *BJM*. 2016;41:353.
9. Pantet O., Faouzi M., Brusselsaers N., Vernay A., Berger M. M. Comparison of mortality prediction models and validation of SAPS II in critically ill burns patients. *Ann Burns Fire Disasters*. 2016;41:123.

---

**Информация об авторах:**

**Заворотний Олег Олегович**, врач-хирург отдела термических поражений, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И. И. Джанелидзе (Санкт-Петербург, Россия), ORCID: 0000-0002-1097-1519; **Зиновьев Евгений Владимирович**, доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела термических поражений, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И. И. Джанелидзе (Санкт-Петербург, Россия), ORCID: 0000-0002-2493-5498; **Костяков Денис Валерьевич**, кандидат медицинских наук, научный сотрудник отдела термических поражений, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И. И. Джанелидзе (Санкт-Петербург, Россия), ORCID: 0000-0001-5687-7168.

**Information about authors:**

**Zavorotniy Oleg O.**, Surgeon of Thermal Injuries Unit, Saint-Petersburg I. I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine (Saint Petersburg, Russia), ORCID: 0000-0002-1097-1519; **Zinoviev Evgeny V.**, Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Thermal Injuries Unit, Saint-Petersburg I. I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine (Saint Petersburg, Russia), ORCID: 0000-0002-2493-5498; **Kostyakov Denis V.**, Cand. of Sci. (Med.), Research Fellow of Thermal Injuries Unit, Saint-Petersburg I. I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine (Saint-Petersburg, Russia), ORCID: 0000-0001-5687-7168.