

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В КОМБУСТИОЛОГИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

¹ Мовчан К.Н., ²Дерий Э.К., ¹Повалий А.А., ¹Исхаков Р.Б.

¹*Санкт-Петербургское государственное бюджетное учреждение здравоохранения
«Медицинский информационно-аналитический центр», Санкт-Петербург, Россия*

²*Государственное бюджетное учреждение «Санкт-Петербургский научно-
исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе», Санкт-Петербург,
Россия*

Резюме: Представлен обзор данных из источников литературы, посвященных исследованиям проблем внедрения методов статистического анализа, машинного обучения и нейронных сетей в практическую деятельность специалистов ожоговых центров. Основными направлениями научных изысканий, посвященных термической травме продолжают сохраняться: вопросы точности определения площади и глубины термических поражений [1], прогноза течения и исхода ожоговой болезни, а также – оптимизации объемов и качества содержания интенсивной терапии, выбора вариантов тактики хирургического лечения [2]. Акценты в этих аспектах научно-практической деятельности смещаются от получения основных данных при физикальном классическом обследовании к целенаправленным математическим расчетам с использованием информационно-аналитическим систем – ИАС [3,4]. На фоне стремительности темпа технического прогресса необходимость применения новейших IT-технологий в разработке программного обеспечения и приложений, упрощающих повседневную деятельность практикующих хирургов, не вызывает сомнений. Использование методик искусственного интеллекта способствует снижению вероятности ошибки и гипердиагностики при проведении мероприятий по оказанию медицинской помощи пациентам с ожоговой травмой [5]. Результаты многофакторных исследований по выявлению новых возможностей использования компьютерных технологий в комбустиологии позволяют уверенно судить о высоком качестве предикции эффективности лечения пострадавших при термической травмы и объективно оценить вероятность ее осложненного течения, что предопределяет в комбустиологии перспективы развития данной области научного познания [1,6,7].

Ключевые слова: ожоги, искусственный интеллект, машинное обучение, прогнозирование, исход.

**PROSPECTS FOR THE USE OF FORECASTING METHODS IN
COMBUSTIOLOGY (LITERATURE REVIEW)**

¹Movchan K.N., ²Deriy E.K., ¹Povaliy A.A., ¹Ishakov R.B.

¹*St. Petersburg State Budgetary Health Institution «Medical Information and Analytical Center»,
St. Petersburg, Russia*

²*Saint-Petersburg I. I. Dzhanlidze Research Institute of Emergency Medicine, Saint Petersburg,
Russia*

Summary: A review of data from literature sources devoted to research on the problems of introducing statistical analysis methods, machine learning and neural networks into the practical activities of specialists in burn centers is presented. The main areas of scientific research on thermal injury continue to be: the accuracy of determining the area and depth of thermal lesions [1], the prognosis of the course and outcome of burn disease, as well as optimizing the volume and quality of intensive care, the choice of surgical treatment tactics [2]. The emphasis in these aspects of scientific and practical activities is shifting from obtaining basic data during a physical classical examination to targeted mathematical calculations using information and analytical systems - IAS [3,4]. Against the backdrop of the rapid pace of technological progress, the need to apply the latest IT technologies in the development of software and applications that simplify the daily activities of practicing surgeons is beyond doubt. The use of artificial intelligence techniques helps to reduce the likelihood of errors and overdiagnosis when carrying out medical care for patients with burn injuries [5]. The results of multifactorial studies to identify new opportunities for the use of computer technologies in combustiology allow us to confidently judge the high quality of predicting the effectiveness of the treatment of victims of thermal injury and objectively assess the likelihood of its complicated course, which predetermines the prospects for the development of this area of scientific knowledge in combustiology [1,6,7].

Key words: burns, artificial intelligence, machine learning, prediction, outcome.

В последние десятилетия в теории и практике оказания медицинской помощи (МедП) пострадавшим при ожоговой травме во всем мире произошли кардинальные изменения [8,9]. Если выживание тяжелообожженных ранее рассматривалось эксклюзивным, то в тренде совершенствования комплекса мероприятий по оказанию МедП пациентам с данным видом повреждения частота случаев летальных исходов постепенно

продолжает снижаться и к 2022 г. в Российской Федерации этот показатель уменьшился до значения 7,75% [10].

Прогресс эффективности мер интенсивной терапии и результативности вариантов хирургического лечения пациентов с ожоговой болезнью (ОЖБ) во многом сопряжен с инновационными разработками в медицине в целом, а в частности – с совершенствованием систем ухода за пострадавшими, использованием микробиологического мониторинга, соблюдения мер гигиены и др. при должном техническом оснащении медицинских организаций (МедОрг) современными информационно-аналитическими системами (ИАС), сопровождающими лечебно-диагностический процесс – ЛДП [11]. Использование комплексной терапии пострадавших при термической травме уже не фокусируется исключительно на стенических усилиях, применяемых для заживлении ран. Такой вид неоперативного лечения также содержит меры реабилитации, обязательность психологической поддержки с ускоренной реинтеграцией пациентов в общество, при обязательном учёте параметров возраста и выраженности/компенсации сопутствующей патологии пациентов, в особенности при многофакторных хронических заболеваниях сердечно-сосудистой и дыхательной систем, сахарном диабете, бронхиальной астме, ожирении и других патологических состояниях, которые, порой, неблагоприятным образом/отягощающе влияют на течение и исход ожоговой болезни [12].

Тем не менее опыт, накопленный комбустиологами за многие годы, позволяет считать очевидным, что лечение обожженных в настоящее время осуществляется мультидисциплинарно с несомненной необходимостью учета большого массива данных, получаемых в процессе обследования пострадавших от ожогов [13]. Решение задач по совершенствованию содержания мероприятий ЛДП в комбустиологической практике оказывается возможным при применении математических расчетов и статистических методов обработки информации. Применение предлагаемых в настоящее время технологий искусственного интеллекта и машинного обучения (ML) в медицине (в хирургии повреждений, в частности) определяет дальнейшие пути ее развития с возможностью интеграции в практику, в том числе, – в повседневную деятельность комбустиологов [14].

Среди IT-технологий, предлагаемых для использования в комбустиологии, выделяются варианты ИАС трех групп: прогнозирования течения и исхода ожоговой болезни; определение площади ожоговой раны и вероятности глубинного поражения кожи. Интегрирующе также применяются и инновации по дифференциальной диагностике вариантов термической травмы.

*Технологии математического прогнозирования течения и исхода
ожоговой травмы*

Возможность прогнозирования течения и исхода ожоговой травмы во время госпитализации обожженных – основополагающее звено ЛДП с точки зрения выработки контента и последовательности оптимальных мероприятий эвакуационной принадлежности, маршрутизации и определения очередности коррекции интенсивной терапии и хирургической тактики. Прогноз не может не учитывать патогенетические особенности ожоговой травмы [1,2,15]. В XX веке предложено множество индексов прогноза течения и исходов ожоговых повреждений на основе использования продуктов статистической обработки данных, логистической регрессии, что сопряжено с необходимостью учета значительного количества показателей [16,17,18,19].

Используя метод пробит-анализа J.Bull, J.Squire в 1949 году впервые разработали модель прогнозирования течения и исхода ожоговой болезни, учитывая в качестве предикторов данные о возрасте пострадавших, об общей площади термической травмы (в % поверхности тела). Использование предложенного индекса позволило оценить значимость применения статистических методик в практической комбустиологии и выявить возможные перспективные пути их развития в деталях [20]. С.А. Moyer (1954) используя пробит-анализ разрабатывал новый способ прогноза течения и исхода ожоговой болезни [21]. В 1966 году M.S. Rittenbury с соавт. оценили возможности данного метода, используя сведения выборки из 1 831 пациентов, подвергшихся ожоговой травме [22].

А.В. Матвеев (2006) на основе данных пробит-анализа продемонстрировал разработанную им координационную сетку прогнозирования летальных исходов при ожогах, основанную на параметрах возраста и общей площади ожоговых ран в % поверхности тела и доказал ее эффективность. Однако, этот автор отметил, что применение предлагаемого метода оказывалось высоко прогностичным лишь при его использовании в стационаре, в котором осуществлена разработка модели. Сотрудниками других лечебно-профилактических учреждений столь обнадеживающая значимость модели не отмечалась [23].

В 1986 г. В.А. Аминев и Е.С. Верещагин (цит. по А.В. Матвеев [24]) использовали в качестве модели прогноза течения и исхода ожоговой болезни у детей методы статистической обработки данных, определяемые как множественная регрессия и «корреляционный анализ». Впервые применение в отечественной комбустиологии модели прогнозирования течения ОжБ позволило достичь данных объективности в возможностях повышения эффективности МедП на начальных/ранних этапах лечения ожогов в

педиатрической практике. Аналогичный механизм предикции использовали И.Р. Вазина с соавт. (1986) при прогнозировании критических периодов течения ожоговой болезни и случаев летальности обожженных в течении первого месяца после термической травмы, выявляя новые возможности метода [25]. D.S. Covington [26] оценивал прогностические индикаторы у пациентов пожилого возраста, подвергшихся ожоговой травме. D. Wassermann и соавт. [27] в 1993 году удалось подтвердить достоверную значимость сведений, выявляемых при сборе анамнеза и физикальных данных как факторов, влияющих на течение и исход ожоговой болезни в ранние сроки после травмы на когорте из 847 пациентов. В 2001 году И.В. Шлык и Д.М. Широков [28] разработали критерии диагностики и оценки тяжести ингаляционной травмы, используя метод множественной регрессии, подготовив клинические рекомендации по прогнозированию неблагоприятного течения ожоговой болезни.

В 1992 г. Р. Vico и J. Papillon [29], используя многофакторный статистический подход при дискриминантном анализе данных о пострадавших, переносящих агрессивное течение ожоговой болезни, выявили факторы, влияющие на показатель смертности по причине ожогов, определив при этом новые возможности применения в медицинской практике и при теоретическом осмыслении клинических данных посредством методов статистических исследований.

В 1986 году R.G. Carlson с соавт. в качестве индикатора выживаемости пострадавших, подвергшихся ожогам, определяли уровень ретенции жидкости в организме обожжённого в течении первых 48 часов после травмы [30]. Осуществлялось это путем применения метода линейной регрессии и вариационного анализа.

Заворотний О.О. и соавт. в 2020 г. для прогнозирования течения и исхода ожоговой болезни предложили использовать метод логистической регрессии – LR [31]. Основываясь на данных о 330 пациентах с термической травмой, учитывая 62 предиктора лабораторной и инструментальной диагностики, авторы впервые сформулировали практические рекомендации по количественным и качественным параметрам интенсивной терапии и вариантам хирургической тактики лечения обожженных, опираясь на результаты прогноза посредством полученной формулы, в очередной раз подтверждая перспективность внедрения статистических методик обработки данных в здравоохранении в целом, и в комбустиологии в частности.

В 2002 году Н.К. Estahbanatia и N. Bouduhib [32] впервые при прогнозировании выживаемости пациентов, подвергшихся ожоговой травме, оценили возможности применения искусственных нейронных сетей (ANN). В исследование были включены

данные о 1 082 пациентах с ожоговой травмой. Осуществлялось тестирование модели данной технологии, используя 15 различных факторов, включая: возраст, пол, общая площадь ожоговой травмы, данные о поступлении (месяц и сезон года получения травмы), отсрочку госпитализации, термоингаляционное повреждение дыхательных путей, лабораторные параметры клинического и биохимического анализов крови, инструментальные методы исследования, количество и тип хирургических вмешательств (некрэктомия или аутодермотрансплантация). В процессе работы авторы пришли к выводу, что посредством искусственного интеллекта, функционирующего по аналогии нейронных сетей человеческого мозга, оказывается возможным «наблюдать» за реальными событиями/фактами с качественной оценкой относительного влияния переменных критериев друг на друга и на случай в целом (имеются ввиду пациенты с термической травмой). Исследователи установили, что нейро-сетевое моделирование может «учиться» на фактах или на данных об «обучающей группе» с вычислением выходных параметров последнего нейрона, предсказывая ответ или вывод в какой-либо другой (схожей) ситуации, т.е. таким образом, как это заложено в функции мозга человека при высокой степени объективности.

В 2004 г. Д.М. Коротких и соавт. [33], применяя новейшие технологии искусственного интеллекта (в частности – нейро-сетевое моделирование), убедились в перспективе дальнейшего развития данного направления научных изысканий, как кратчайшего пути от теоретической идеи прогнозирования к практической реализации результатов, полученных в ходе математического прогнозирования.

В 2019 году S.Hassanipour, H. Ghaem и соавт. [34] провели масштабную работу, заключающуюся в рейтинговом сравнении моделей искусственной нейронной сети и логистической регрессии для прогнозирования исходов раневого процесса у пострадавших от травмы, в том числе и ожогового генеза. Результаты проведенной работы позволили авторам прийти к выводу, что ANN обладает более высокой точностью, в сравнении с LR. Однако, в плане поиска причинно-следственной связи между переменными, LR оказывается методом выбора. Авторы полагают, что предложенные методы, дополняя друг друга, могут с пользой применяться в процессе прогнозирования течения и исхода ожоговой болезни. В этом отношении необходимость проведения дальнейших исследований в ракурсе изучения взаимодополняющих возможностей искусственной нейронной сети и логистической регрессии с целью мультифакторного и всеобъемлющего подхода к разработке метода прогнозирования очевидна.

*ИТ-технологии объективной идентификации площади ожоговой
раны и вероятности глубокого поражения кожи*

Результаты лечения пострадавших от термической травмы тесно связаны с точностью данных о площади и глубине ожоговой раны [7]. В зависимости от данных показателей принимается решение об объеме мероприятий по интенсивной терапии и тактики хирургического лечения. Учёт количественных параметров раневого процесса также необходим для расчета прогноза течения и исхода термической травмы, так как основополагающим критерием в большинстве прогностических индексов и формул считается процентное соотношение площади ожоговой раны к общей площади тела человека с учетом глубины раневого дефекта. Это подтверждает необходимость дальнейшего усовершенствования существующих методик оценки характеристик ожога посредством применения технологий статистического анализа и машинного обучения в прогнозировании течения ожоговой болезни [35].

Учитывая важность критериев, отражающих состояние раны, Н.Л. Haller с соавт. [36] в 2009 году создали исследовательский проект (BurnCase 3D), по оценке возможностей определения площади и глубины ожоговой раны с фотофиксацией повреждений и интерпретацией данных компьютерных технологий и ANN. В 2020 году Kyung Tak Yoo с соавт. [37] для оценки качества разработанного ими программного обеспечения (и созданного на его базе приложения) провели сравнительный анализ результатов применения диаграммы Лунда-Браудера и BurnCase 3D на основе данных когорты из 26 пациентов с ожоговой травмой с 262 фотографиями. Опираясь на полученные результаты авторы засвидетельствовали факт незначительности разницы между временем, затраченным на определение площади раневого поражения. Исследователи также полагают, что для более точного результата необходимо проведение многоцентрового исследования с масштабной выборкой обожженных.

В. Acha и С. Serrano с соавт. [38] в 2013 году провели анализ сведений о глубине ожоговой раны, используя многомерное шкалирование применительно к данным психофизического эксперимента. Авторы исследовали 74 изображения раневого процесса и установили, что при градации глубокого повреждения по критериям МКБ-10 достоверность работы ML соответствовала показателю – 66,2%. При учете данных лишь о глубоких поражениях (что сопряжено с необходимостью выполнения хирургического вмешательства в формах некрэктомии и аутодермопластики) точность разработанной модели составляла 83,8%.

M.D. Cirillo с соавт. [39] в 2019 году, применяя метод сверхточных нейронных сетей (CNN), обращали внимание на многообещающие возможности применения ANN в т.н. «машинном обучении» для прогнозирования течения раневого процесса и, как следствие, — улучшение результатов лечения ожоговой травмы. Эти авторы включали в исследование параметры цветных изображений 3 типов глубокого термического повреждения в первые несколько дней после травмы и данные, получаемые на основании оценки изображений на снимках здоровой кожи и фона, фиксируемого камерой TiVi. После обучения CNN средние показатели точности, чувствительности и специфичности для 4 видов ожогов составили 90,54, 74,35 и 94,25%, соответственно. Параметры точности сравнивались в плане корреляции соответствия клиническому диагнозу, выставляемому после заживления ран. В целом, материалы данной работы оказались доказательной базой для подтверждения прерогативы применения искусственного интеллекта над рутинными (т.н. консервативными) методами расчета.

В 2021 году в S. Huang провела системный обзор исследований посвященных количественной оценке показателей площади и глубины ожоговой раны с использованием машинного обучения и существующих приложений [11]. Автор констатировала, что в 19 научных работах, в которых отражены результаты применения ANN-оценки глубины ожоговых ран (всего 2 815 наблюдений, из которых: 738 случаев людей, пострадавших от ожогов, а 2 077 — модели животных — свиней) в 13 исследованиях сообщалось о точности ML — соответствия критериям классификации глубины ожога по МКБ-10. Выраженность соответствия определялась как соотношения совпадения прогноза моделей с оценкой клиницистов (комбустологов), патологоанатомов или гистологов. На основании проведенных исследований точность прогноза количественно определена в диапазоне от 66,2% [40] до 92,5% [41].

S. Huang [11] оценила данные о площади ожоговых ран посредством использования ML и ANN по ссылкам из 9 публикаций, в которых отражены результаты использования машинного обучения или автоматизации для расчета общей площади ожога в образцах 386 ожоговых ран (265 — у пациентов с термической травмой, а 121 — от ожогов, смоделированных посредством компьютерной графики). Всего проанализированы данные о применении 4 мобильных приложений и 3 программ для портативного компьютера (ПК), результаты использования которых оценивались в сравнении с данными диаграмм Лунда и Браудера, правилами девяток и ладони специалистами ожоговых центров. Судя по опубликованным сведениям в результатах исследований не было обнаружено существенной разницы между автоматизированными и т.н. традиционными методами

прогноза [11]. Вместе с тем, M. Giretzlehner et al. [42] в 2013 году утвердились во мнении, что по т.н. «бумажным» методам констатируется завышение % общей площади ожога на 77–161% по сравнению таковым, определяемым посредством мобильного приложения BurnCase 3D.

В целом, на основании данных научного анализа литературы, нельзя не отметить высокую эффективность использования принципов нейронных сетей и машинного интеллекта в определении глубины ожоговой раны с выявлением возможностей коррекции хирургической тактики при учете результатов прогнозирования на основе использования данных IT-обеспечения в практической деятельности хирургов, комбустиологов и анестезиологов-реаниматологов, осуществляющих свою профессиональную деятельность в ожоговых центрах.

*Цифровые технологии дифференциальной диагностики
термической травмы*

Поиск ответов на вопросы о дифференциальной диагностике локальных повреждений при ограниченных временных возможностях сбора данных об особенностях получения травмы представляет существенную проблему в комбустиологии. Данное обстоятельство обуславливает необходимость оценки характеристик ожоговой раны в ранние сроки после нанесения повреждения, что может оказаться сопряженным с некорректным оказанием МедП, и, как следствие, – с возрастанием рисков формирования осложнений течения раневого процесса в виде патологии дерматологического и хирургического профилей [43]. Технологиями нейронных сетей в дифференциальной диагностике доброкачественных и злокачественных новообразований кожи пользуются не малочисленные группы исследователей [44,45]. В частности П.В. Краюшкин [46] в 2018 г. в обзоре литературы оценивает данные многих авторов, совершавших разработку и анализ степени эффективности применения ANN на отдельных фотоэлементах кожных изменений при глобальном картировании всего тела. Автор придерживается идеи целесообразности максимальной синхронизации возможностей машинного обучения и клинической практики с целью достижения оптимизации результатов медицинской помощи с масштабной профилактикой случаев онкологических состояний.

В 2019 году А. Abubakar с соавт. [47], используя модели VGG-Face и Residual Network, подробно проанализировали 990 изображений здоровой кожи и сравнили полученные данные с аналогичными по 31 фотографии ожоговых ран и 29 фотоснимками пролежней. Исследователи заключили, что система VGG-Face обладает значимой глубиной

анализа данных, определяя высокую точность результатов работы нейронной сети, – авторы оценили предиктивность и качество метода в 99,9%.

Возможность дифференцировать ожоговые раны от пролежней в ранние сроки прошедшие после травмирования обеспечивает установление более точных представлений о патогенетических особенностях раневых поверхностей. Исследования В. Rostami и D.M. Anisuzzaman [48,49] показали, что, несмотря схожесть по внешнему виду раневого процесса дерматологи (также как и хирурги) могут в полной мере использовать возможности машинного обучения для верификации аномалий кожи, особенно в ситуации, когда визуальная оценка является сложной и/или сомнительной. Эти авторы утверждают, что аналогичного подхода можно придерживаться и для оценки состояния язвенных дефектов кожи другого генеза, обусловленных диабетическим процессом и/или любых повреждений, что позволяет исключить субъективный фактор в диагностике.

Анализ публикаций специалистов, занимающихся вопросами научного познания особенностей термической травмы, позволяют сделать вывод о том, что применение методик машинного обучения и нейронных сетей в медицине в целом и комбустиологии в частности определяет дальнейшие перспективы улучшения качества оказания МедП пострадавшим от ожоговой травмы. Сведения многих исследователей позволяют полагать, что внедрение в клиническую практику ANN и ML обеспечивает достижение высоких результатов лечения, т.к. способствует снижению частоты ошибочных диагнозов и неопределенных прогнозов, а также обуславливает дальнейшее развитие нового направления в хирургии и организации здравоохранения – обеспечение населения высокотехнологичной МедП, в том числе, – и по профилю «комбустиология».

Список литературы:

1. Матвеев А.В. Оптимальные модели прогнозирования исхода ожогов // Вестник Российской Военно-медицинской академии. - 2020. - Т. 22. - №2. - С. 235-240. doi: 10.17816/brmma50079.
2. 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>
3. Зиновьев Е.В., Вагнер Д.О., Чухарев А.Е. Оценка эффективности эмпирических и расчетных способов определения объема кровопотери при хирургическом лечении пострадавших от ожогов. Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2022;(1):89-94. <https://doi.org/10.25016/2541-7487-2022-0-1-89-94>
4. Lam N. N., Hung N. T., Duc N. M. Prognosis value of revised Baux score among burn patients in developing country // International Journal of Burns and Trauma. – 2021. – Т. 11. – №. 3. – С. 197.
5. Estahbanati H.K., Bouduhi N. Role of artificial neural networks in prediction of survival of burn patients – a new approach. Burns. – 2002. – Vol. 28. – P. 579-586.
6. I.R. Galatzer-Levy, S. Ma, A. Statnikov, R. Yehuda, A.Y. Shalev. Utilization of machine learning for prediction of post-traumatic stress: a re-examination of cortisol in the prediction and pathways to non-remitting PTSD. Transl Psychiatry. 2017;(3):1-15
7. Lee, S., Lukan, J., Boyko, T. et al. A deep learning model for burn depth classification using ultrasound imaging //Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. – 2022. – Т. 125. – P. 104930.
8. Synodinou, D., Savoie-White, F. H., Sangone A., et al. Health utilities in burn injury survivors: A systematic review //Burns. – 2021. – Vol. 48. – P. 13-22.
9. Khani M. E. et al. Supervised machine learning for automatic classification of in vivo scald and contact burn injuries using the terahertz Portable Handheld Spectral Reflection (PHASR) Scanner //Scientific Reports. – 2022. – Т. 12. – №. 1. – С. 1-12.
10. Алексеев, А.А. Основные статистические показатели работы медицинских организаций России по оказанию специализированной медицинской помощи пострадавшим от ожогов в 2021 году / А. А. Алексеев // Заседание профильной комиссии по комбустиологии Минздрава России совместно с Пленумом Общероссийской общественной организации «Объединение комбустиологов

«Мир без ожогов» — 2022. — Режим доступа:
http://combustiolog.ru/news_site/zasedaniya-profil-noj-komissii-po-kombustologii.

11. Huang S. et al. A systematic review of machine learning and automation in burn wound evaluation: a promising but developing frontier //Burns. – 2021. – Т. 47. – №. 8. – С. 1691-1704.
12. Pham C., Collier Z., Gillenwater J. Changing the way we think about burn size estimation //Journal of Burn Care & Research. – 2019. – Т. 40. – №. 1. – С. 1-11.
13. Fransén J. et al. A proof-of-concept study on mortality prediction with machine learning algorithms using burn intensive care data //Scars, burns & healing. – 2022. – Т. 8. – P. 20595131211066585.
14. Chauhan J., Goyal P. BPBSAM: body part-specific burn severity assessment model //Burns. – 2020. – Т. 46. – №. 6. – С. 1407-1423.
15. Заворотний О. О., Зиновьев Е. В., Костяков Д. В. Возможности повышения эффективности прогнозирования летального исхода у тяжелообожженных с использованием методов логистической регрессии //Журнал Неотложная хирургия им. ИИ Джанелидзе. – 2021. – №. S1. – С. 23-24.
16. Colohan S. M. Predicting prognosis in thermal burns with associated inhalational injury: a systematic review of prognostic factors in adult burn victims //Journal of burn care & research. – 2010. – Т. 31. – №. 4. – С. 529-539.
17. Hussain A., Choukairi F., Dunn K. Predicting survival in thermal injury: a systematic review of methodology of composite prediction models //Burns. – 2013. – Т. 39. – №. 5. – С. 835-850.
18. Hussain Z. et al. Recent developments and advanced strategies for promoting burn wound healing //Journal of Drug Delivery Science and Technology. – 2022. – P. 103092.
19. Sheppard N. N. et al. Prognostic scoring systems in burns: a review //Burns. – 2011. – Т. 37. – №. 8. – С. 1288-1295.
20. Bull J.P., Squire J.R. A study of mortality in a burns unit // Ann. Surgery.—1949.— Vol. 130, № 2.—P. 160–173.
21. Moyer C. A., Dupertuis S. M. The Treatment of Burns //Plastic and Reconstructive Surgery. – 1957. – Т. 19. – №. 5. – С. 432.
22. Ryan, C. M. Functional outcomes following burn injury / C. M. Ryan, I. Parry, R. Richard // Journal of Burn Care and Research. – 2017. – Vol. 38, I. 3. – P. 614-617.

23. Матвеев А. В., Плотников С. А., Шиндяпин С. В. Модель прогноза исхода ожоговой травмы на основе пробит-анализа //Вестник хирургии имени ИИ Грекова. – 2006. – Т. 165. – №. 4. – С. 50-53.
24. Матвеев А. В. Прогнозирование исхода термических ожогов //Вестник хирургии имени ИИ Грекова. – 2009. – Т. 168. – №. 6. – С. 101-104.
25. Вази́на И.Р., Зуди́на Т.И., Вази́н В.А., Овся́нников И.М. Прогнозирование исходов и критических периодов ожоговой болезни // 5-я Науч.-практ. конф. По проблеме термических поражений: Тезисы докл. – Горький: НИИТО, 1986 С. 106-109.
26. Covington D. S., Wainwright D. J., Parks D. H. Prognostic indicators in the elderly patient with burns //The Journal of burn care & rehabilitation. – 1996. – Т. 17. – №. 3. – С. 222-230.
27. Wassermann D., Coste O., Schlotterer M. et al. Prognostic indicators in burned patients: study on a cohort of 847 patients: Abstracts 5th Congress European burn Association. – Brighton., 1993. – P. 4.
28. Шлык И.В., Широков Д.М. Диагностика, оценка тяжести, прогнозирование исхода и лечение термоингаляционной травмы у обожженных: Метод. реком.— СПб.: ГНИИ СП им. И.И.Джанелидзе, 2001.—16 с.
29. Vico P., Papillon J. Factors involved in burn mortality: a multivariate statistical approach based on discriminant analysis //Burns. – 1992. – Т. 18. – №. 3. – С. 212-215.
30. Carlson R.G., Finley R.K., Miller S.F. et al. Fluid retention the first 48 hours as an indicator of burn survival // J. Trauma.—1986.— Vol. 26, № 9.—P. 840–843.
31. Заворотный, О. О., Зиновьев, Е. В., Волков, В. Г. и др. Сравнительная оценка методов прогнозирования летального исхода тяжелообожженных //Инновационная медицина Кубани. – 2022. – №. 1. – С. 12-18.
32. Wei W., Yang X. Comparison of diagnosis accuracy between a backpropagation artificial neural network model and linear regression in digestive disease patients: An empirical research //Computational and Mathematical Methods in Medicine. – 2021. – Т. 2021.
33. Коротких Д.М., Лях Ю.Е., Гурьянов В.Г., Фисталь Н.Н. Использование нейросетевого моделирования для прогнозирования течения и исхода ожоговой болезни // Комбустиология.— Приложение к Нижегородск. мед. журн.—2004.— С. 53–54.

34. Hassanipour S. et al. Comparison of artificial neural network and logistic regression models for prediction of outcomes in trauma patients: A systematic review and meta-analysis //Injury. – 2019. – Т. 50. – №. 2. – С. 244-250.
35. Шаповалов С. Г., Плешков А. С. Тактические подходы в хирургическом лечении пострадавших с глубокими критическими ожогами //Журнал Неотложная хирургия им. ИИ Джанелидзе. – 2021. – №. S1. – С. 73-74.
36. Haller H. L., Dirnberger J., Giretzlehner M. et al. “Understanding burns”: research project BurnCase 3D—overcome the limits of existing methods in burns documentation //Burns. – 2009. – Т. 35. – №. 3. – С. 311-317.
37. Yoo K. T., Woo G. W., Jang T. Y. et al. Comparison between the Lund-Browder chart and the BurnCase 3D for consistency in estimating total body surface area burned //WikiJournal of Medicine. – 2020. – Т. 7. – №. 1. – С. 1-8.
38. Serrano C., Boloix-Tortosa, R., Gómez-Cía, T., Acha, B. Features identification for automatic burn classification //Burns. – 2015. – Т. 41. – №. 8. – С. 1883-1890.
39. Cirillo M. D., Mirdell R., Sjöberg F. et al. Time-independent prediction of burn depth using deep convolutional neural networks //Journal of Burn Care & Research. – 2019. – Т. 40. – №. 6. – С. 857-863.
40. Acha B., Serrano C., Fondón I. et al. Burn depth analysis using multidimensional scaling applied to psychophysical experiment data //IEEE Transactions on Medical Imaging. – 2013. – Т. 32. – №. 6. – С. 1111-1120.
41. Rowland R. A., Ponticorvo A., Baldado M. L. et al. Burn wound classification model using spatial frequency-domain imaging and machine learning //Journal of biomedical optics. – 2019. – Т. 24. – №. 5. – P. 056007.
42. Giretzlehner M., Dirnberger J., Owen R. et al. The determination of total burn surface area: how much difference? //Burns. – 2013. – Т. 39. – №. 6. – С. 1107-1113.
43. Koppenol D. C., Vermolen F. J., Koppenol-Gonzalez G. V. et al. A mathematical model for the simulation of the contraction of burns //Journal of Mathematical Biology. – 2017. – Т. 75. – №. 1. – С. 1-31.
44. Kashf D. W. A., Okasha A. N., Sahyoun N. A. et al. ANN for Predicting DNA Lung Cancer //Lung cancer. – 2018. – Т. 2. – №. 10. – С. 6-13.
45. Hu B., Yin G., Sun X. Identification of specific role of SNX family in gastric cancer prognosis evaluation //Scientific Reports. – 2022. – Т. 12. – №. 1. – С. 1-15.

46. Краюшкин П. В. Возможности искусственного интеллекта в диагностике онкологических заболеваний кожи //Косметика и медицина. – 2018. – №. 3. – С. 90-99.
47. Abubakar A., Ugail H., Bukar A. M. Can machine learning be used to discriminate between burns and pressure ulcer? //Proceedings of SAI intelligent systems conference. – Springer, Cham, 2019. – С. 870-880.
48. Rostami B. et al. Multiclass Burn Wound Image Classification Using Deep Convolutional Neural Networks //arXiv preprint arXiv:2103.01361. – 2021.
49. Anisuzzaman D. M. et al. Wound Severity Classification using Deep Neural Network //arXiv preprint arXiv:2204.07942. – 2022.