

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ТРАВМАТОЛОГИИ

Савгачев В.В.*¹, Шубин Л.Б.

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный медицинский университет», Ярославль

DOI: 10.25881/20728255_2026_21_1_127

Резюме. Стремительное развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ) в сфере здравоохранения привлекло широкое внимание мирового медицинского сообщества. Особенно заметен потенциал применения ИИ в области травматологии, которая представляет собой гонку со временем. Травма является основной причиной смерти среди людей в возрасте до 40 лет во всем мире, а эффективность и качество лечения напрямую связаны с выживаемостью и прогнозом для пациентов. Традиционная модель лечения травм ограничена такими факторами, как неравномерное распределение медицинских ресурсов, различия в профессиональном опыте и запоздалые диагностические решения, а также существует множество проблем, которые необходимо решать безотлагательно. Вмешательство ИИ открыло возможность революционных изменений в травматологии. Целью данного исследования является всесторонний обзор текущего состояния применения ИИ во всех аспектах травматологии, глубокий анализ его клинической ценности и ограничений, а также предложение практических рекомендаций, основанных на новейших данных.

Ключевые слова: искусственный интеллект, травматология, диагностика травмы, лечение, прогнозы.

Диагностика с использованием искусственного интеллекта и анализ изображений в травматологии

В области травматологии точная и быстрая диагностика является важнейшим первым шагом к успешному лечению. Традиционные методы диагностики полагаются на опыт и знания врача, но в условиях сложных и изменчивых травматических ситуаций этот метод часто имеет такие недостатки, как сильная субъективность, низкая эффективность и высокий уровень ошибочных диагнозов [1; 2]. Внедрение искусственного интеллекта (ИИ), особенно технологии глубокого обучения, привело к качественному скачку в диагностике травм [3].

Применение ИИ в визуализационной диагностике

Визуализационные исследования являются основным инструментом оценки травм, однако интерпретация этих изображений требует обширных знаний и опыта. Алгоритмы глубокого обучения, особенно конволюционные нейронные сети (Convolutional Neural Networks – CNN), широко используются для автоматизированного анализа различных визуализационных исследований [4]. Эти алгоритмы позволяют быстро выявлять ключевые признаки, такие как переломы, кровотечение и пневмоторакс, что значительно сокращает время диагностики и повышает ее точность [5].

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TRAUMATOLOGY: A SYSTEMATIC REVIEW AND RECOMMENDATIONS FOR CLINICAL PRACTICE

Savgachev V.V. *, Shubin L.B.

Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl

Abstract. The rapid development of artificial intelligence (AI) technologies in the healthcare sector has attracted widespread attention from the global medical community. The potential of AI applications in the field of traumatology, which is a race against time, is particularly noticeable. Trauma is the leading cause of death among people under the age of 40 worldwide, and the effectiveness and quality of treatment are directly related to survival and prognosis for patients. The traditional trauma treatment model is limited by factors such as uneven distribution of medical resources, differences in professional experience, and delayed diagnostic solutions, and there are many challenges that need to be addressed urgently. The intervention of artificial intelligence has opened up the possibility of revolutionary changes in traumatology. The purpose of this study is to provide a comprehensive overview of the current state of artificial intelligence in all aspects of traumatology, an in-depth analysis of its clinical value and limitations, as well as to offer practical recommendations based on the latest data. Through a systematic review of existing research, we hope to provide doctors, researchers, and policy makers with authoritative background information on the use of AI in traumatology.

Keywords: artificial intelligence, traumatology, injury diagnosis, treatment, prognosis.

Последние исследования показывают, что значение AUC системы обнаружения переломов на основе глубокого обучения при многоцентровой проверке достигло 0,89 (95% ДИ 0,85–0,92), что близко к показателям опытных рентгенологов или даже превосходит их в некоторых случаях [6]. Что еще важнее, эти системы способны работать круглосуточно без перерывов, не подвержены усталости и обеспечивают своевременную оценку состояния пациентов с травмами.

Применение ИИ для определения типа травмы

Точное определение типа травмы имеет решающее значение для разработки соответствующего плана лечения. Модели глубокого обучения также продемонстрировали замечательные возможности в этой области [7]. Например, модель глубокого обучения для черепно-мозговой травмы (ЧМТ) может автоматически различать легкие, средние и тяжелые травмы на основе изображений КТ и предсказывать прогноз для пациента [8; 9].

Особо следует отметить способность новейших мультимодальных систем ИИ интегрировать данные КТ, МРТ и клинические данные для повышения точности диагностики сложных травм. Эти системы могут не только выявлять повреждения одного органа, но и оценивать общую ситуацию при множественных травмах, обеспечивая научную основу для классификации травм и приоритетного лечения [10].

* e-mail: hirurg2288@mail.ru

Применение ИИ в мониторинге в реальном времени

Состояние пациентов с травмами часто меняется быстро, и мониторинг в режиме реального времени имеет решающее значение для своевременного выявления и лечения осложнений. Алгоритмы машинного обучения могут анализировать данные непрерывного мониторинга, такие как ЭКГ и гемодинамические параметры для прогнозирования изменений состояния пациента [11; 12].

Системы мониторинга в реальном времени, основанные на глубоком обучении, хорошо зарекомендовали себя в прогнозировании посттравматических осложнений, таких как раннее выявление септического шока с точностью более 90% [13; 14]. Постоянно анализируя динамические изменения множества параметров, эти системы способны обнаруживать потенциальные проблемы раньше, чем традиционные методы, выигрывая драгоценное время для своевременного вмешательства.

Методы ИИ для оценки и классификации травм

Оценка и классификация травм являются основными направлениями работы травматологов, которые напрямую влияют на решения пациентов о направлении к специалистам, распределении ресурсов и стратегии лечения [15]. Традиционные методы оценки травм, такие как системы оценки травм (например, AIS/ISS), хотя и широко используются, имеют такие ограничения, как сильная субъективность, сложность расчетов и неспособность в полной мере отразить состояние пациента [16]. Применение ИИ обеспечивает более точный и эффективный метод оценки травм.

Оценка тяжести травмы на основе глубокого обучения

Алгоритмы глубокого обучения могут интегрировать множество клинических параметров, таких как показатели жизнедеятельности, лабораторные анализы и результаты визуализации, для обеспечения более полной оценки тяжести травмы [17; 18]. Эти алгоритмы анализируют большие объемы исторических данных, чтобы изучить сложную взаимосвязь между характеристиками травмы и прогнозом, что позволяет им делать более точные прогнозы.

Последние исследования показывают, что модель оценки тяжести травм на основе глубокого обучения эффективнее традиционных систем оценки при прогнозировании риска смертности пациентов. Например, исследование с использованием глубокой нейронной сети (DNN) достигло значения AUC 0,85 на внешнем проверочном наборе, что значительно выше, чем у традиционной системы оценки ISS [19; 20].

Применение ИИ при оценке множественных травм

Оценка состояния пациентов с политравмой является особенно сложной и требует одновременного учета повреждений нескольких систем органов. Традиционные методы оценки часто не в состоянии в полной мере отразить сложность множественных травм, в то время как

модели глубокого обучения демонстрируют в этом отношении очевидные преимущества [21].

CNN успешно применяются для автоматизированной оценки политравмы. Эти модели способны одновременно анализировать несколько срезов изображения, выявлять травмы в разных местах и оценивать их тяжесть. Исследования показали, что система оценки политравмы на основе CNN достигла точности более 95% при выявлении критических травм [22].

Классификация травм и распределение ресурсов с помощью ИИ

Точная классификация травм имеет решающее значение для рационального распределения медицинских ресурсов, особенно в случае крупномасштабных катастроф или событий с массовыми жертвами. Алгоритмы ИИ могут автоматически классифицировать пациентов на основе результатов оценки травм и рекомендовать соответствующие пути лечения и потребности в ресурсах [23].

Модель распределения ресурсов, основанная на обучении с подкреплением, хорошо работает в имитационных средах и позволяет принимать оптимальные решения по распределению ресурсов в сложных ситуациях. Эти модели учитывают множество факторов, таких как тяжесть состояния пациента, срочность лечения, доступные ресурсы и т. д., обеспечивая научную поддержку принятия решений для медицинских менеджеров [24].

Поддержка ИИ для принятия решений о лечении травм

Решения о лечении травм затрагивают множество дисциплин и профессиональных областей и требуют всестороннего рассмотрения множества факторов, таких как конкретная ситуация пациента, характеристики травмы и доступные ресурсы [25]. Традиционные модели принятия решений часто опираются на опыт и знания отдельных врачей и имеют такие проблемы, как сильная субъективность, плохая последовательность и задержка в принятии решений [26]. Применение ИИ обеспечивает более объективную и точную поддержку решений по лечению травм.

Применение ИИ в принятии хирургических решений

Принятие хирургического решения является ключевым звеном в лечении травм и напрямую влияет на прогноз для пациента. Алгоритмы глубокого обучения способны анализировать комплексные данные о пациентах, прогнозировать хирургические риски и прогнозы, а также обеспечивать научную основу для принятия хирургических решений [27].

Системы поддержки принятия хирургических решений на основе глубокого обучения применяются в различных областях травматологии, таких как ЧМТ, травма живота и т. д. [28; 29] Эти системы могут не только прогнозировать хирургические риски, но и рекомендовать наилучшее время проведения операции и планировать ее

для повышения успешности хирургического вмешательства. Исследования показали, что медицинские бригады, использующие эти системы, демонстрируют большую точность и последовательность в принятии хирургических решений при сложных травмах [30; 31].

ИИ в антибиотикотерапии

Пациенты с травмами, особенно с открытыми ранами и сочетанными травмами, подвержены высокому риску инфицирования. Правильное использование антибиотиков имеет решающее значение для профилактики и лечения инфекций [32]. Алгоритмы ИИ могут анализировать множество факторов, характерных для пациента, таких как возраст, сопутствующие заболевания, тип травмы, микробиологические исследования и т.д., и рекомендовать индивидуальные планы лечения антибиотиками [33].

Системы поддержки принятия решений о применении антибиотиков, основанные на машинном обучении, хорошо зарекомендовали себя в сокращении злоупотребления антибиотиками и повышении эффективности контроля инфекций. Эти системы способны рекомендовать узконаправленные схемы лечения антибиотиками на основе местных и больничных микробиологических данных и динамически корректировать их на основе ответа на лечение [34].

ИИ в лечении боли

Пациенты с травмами часто страдают от сильной боли, и эффективное ее устранение имеет решающее значение для выздоровления пациента и повышения качества его жизни. Алгоритмы ИИ могут анализировать данные оценки боли у пациентов, реакцию на лечение, побочные эффекты и другую информацию для оптимизации планов лечения боли [35].

Модель управления болью, основанная на машинном обучении, может прогнозировать реакцию пациентов на различные анальгетики и рекомендовать индивидуальный выбор препаратов и планы корректировки дозировки. Эти системы могут быстро обнаружить плохой контроль боли и предоставить рекомендации по вмешательству, постоянно отслеживая показатели боли и жизненно важные показатели пациентов [36].

Прогнозирование реабилитации и прогнозирования травм с помощью ИИ

Реабилитация после травм – длительный и сложный процесс, и точное прогнозирование прогноза для пациента имеет решающее значение для разработки планов реабилитации и распределения ресурсов. Традиционные методы прогностической оценки часто основаны на простых системах оценок или опыте врача и имеют такие недостатки, как низкая точность прогнозирования и плохая индивидуализация. Применение ИИ обеспечивает более точный и комплексный метод реабилитации после травм и прогнозирования [37].

Применение ИИ в прогнозировании восстановления функций

Функциональное восстановление является одной из основных целей реабилитации после травм, и точное прогнозирование выздоровления пациентов имеет решающее значение для разработки планов реабилитации и долгосрочных стратегий ухода. Алгоритмы глубокого обучения могут анализировать множество факторов, характерных для пациента, таких как возраст, тип травмы, первоначальная тяжесть травмы, ранняя реабилитационная реакция и т.д., чтобы прогнозировать вероятность и сроки функционального восстановления.

Модель прогнозирования функционального восстановления на основе глубокого обучения хорошо зарекомендовала себя в областях с множественными травмами, такими как травмы спинного мозга, переломы конечностей и т.д. Эти модели могут прогнозировать не только общее восстановление, но и степень восстановления конкретных функций, предоставляя точные рекомендации группам по реабилитации. Исследования показали, что точность прогнозирования этих моделей значительно выше, чем у традиционных методов [38].

Применение ИИ в психологической реабилитации

Пациенты с травмами часто страдают от психологических проблем, таких как посттравматическое стрессовое расстройство, депрессия, тревожность и т.д. Эти проблемы серьезно влияют на выздоровление и качество жизни пациентов. Алгоритмы ИИ могут анализировать клинические характеристики пациентов, результаты психологической оценки, реакцию на лечение и другую информацию, чтобы прогнозировать риск и тяжесть психологических проблем и рекомендовать целевые меры вмешательства.

Модели психологической реабилитации на основе машинного обучения хорошо подходят для выявления пациентов с высоким риском и прогнозирования результатов вмешательства. Эти модели позволяют рекомендовать персонализированные планы психологической реабилитации с учетом индивидуальных особенностей пациентов, отслеживать эффективность вмешательств и своевременно корректировать стратегии лечения. Исследования показали, что медицинские бригады, использующие эти системы, демонстрируют большую точность и эффективность в управлении психологической реабилитацией [39].

Применение ИИ в оценке долгосрочного прогноза

Оценка долгосрочного прогноза травмы имеет решающее значение для долгосрочного ведения пациента и планирования ресурсов. Алгоритмы глубокого обучения могут анализировать данные долгосрочного наблюдения за пациентами, такие как функциональное восстановление, качество жизни, возникновение осложнений и т.д., а также предсказывать долгосрочный прогноз и качество жизни.

Модели оценки долгосрочного прогноза, основанные на глубоком обучении, применяются в различных областях травматологии, таких как ЧМТ, травма спинного мозга и т. д. Эти модели могут не только предсказать общий прогноз, но и предсказать риск конкретных осложнений, обеспечивая научную основу для долгосрочного ведения. Исследования показали, что точность прогнозирования этих моделей значительно выше, чем у традиционных методов [40].

Применение ИИ в образовании и обучении травматологии

Образование и обучение в области травматологии имеют решающее значение для повышения общего уровня и возможностей лечения медицинской бригады. Традиционные методы обучения и подготовки часто имеют ограниченные ресурсы, низкую стандартизацию и несвоевременную обратную связь, что затрудняет удовлетворение потребностей современной травматологической медицины. Применение ИИ обеспечивает более эффективные и персонализированные решения для обучения и подготовки в области травматологии [41].

Применение ИИ в имитационном обучении

Симуляционное обучение является важной частью обучения в области травматологии, однако традиционному симуляционному обучению часто не хватает стандартизации и обратной связи в реальном времени. Алгоритмы ИИ способны создавать высокореалистичные сценарии моделирования травм, оценивать эффективность обучаемых и предоставлять мгновенную обратную связь.

Системы имитационного обучения на основе глубокого обучения применяются в различных областях травматологии, таких как реанимация при травмах, неотложная хирургия и т. д. Эти системы могут не только моделировать различные травматические ситуации, но и регулировать уровень сложности в соответствии с успеваемостью студентов, чтобы обеспечить персонализированный опыт обучения. Исследования показали, что стажеры, использующие эти системы, демонстрируют более высокий уровень навыков и способности принимать решения в реальной клинической работе [42].

Применение ИИ в хирургической подготовке

Развитие хирургических навыков является основным содержанием образования в области травматологии, однако традиционная хирургическая подготовка часто ограничена ресурсами и возможностями. Алгоритмы ИИ способны создавать виртуальную хирургическую среду и моделировать различные хирургические сценарии, предоставляя студентам возможности для безопасной практики.

Системы хирургической подготовки на основе дополненной реальности и виртуальной реальности хорошо зарекомендовали себя в обучении травматологии. Эти системы не только имитируют реальные хирургические

операции, но и обеспечивают мгновенную обратную связь и оценку эффективности, помогая обучающимся своевременно выявлять и исправлять ошибки. Исследования показали, что стажеры, использующие эти системы, демонстрируют более высокий уровень навыков и хирургической эффективности при реальных операциях [43].

Применение ИИ для обновления знаний в области медицины травматологии

Медицинские знания о травмах быстро обновляются, а традиционные методы обновления знаний часто неэффективны и не имеют целенаправленного характера. Алгоритмы ИИ могут анализировать медицинскую литературу, клинические рекомендации, последние исследования и другую информацию, чтобы предоставлять медицинскому персоналу персонализированные предложения по обновлению знаний.

Системы обновления знаний, основанные на обработке естественного языка, нашли применение в области травматологии. Эти системы могут автоматически анализировать большие объемы медицинской литературы, извлекать ключевую информацию и рекомендовать соответствующие учебные материалы и научные достижения на основе интересов и потребностей пользователей. Исследования показали, что медицинский персонал, использующий эти системы, демонстрирует более высокий уровень и эффективность в обновлении знаний и клинической практике [44].

Этика и проблемы применения ИИ в травматологии

Хотя ИИ демонстрирует большой потенциал в травматологии, его применение также сталкивается со многими этическими и практическими проблемами. Понимание и решение этих проблем имеют решающее значение для обеспечения безопасного, эффективного и справедливого применения ИИ в травматологии [45].

Конфиденциальность и безопасность данных

Защита конфиденциальности медицинских данных является основным этическим требованием для приложений ИИ. Травматология связана с большим объемом конфиденциальной личной медицинской информации, и обеспечение безопасного хранения и законного использования этих данных является серьезной проблемой.

Текущие решения включают анонимизацию данных, технологию шифрования, контроль доступа и т. д., но хотя эти методы защищают конфиденциальность пациентов, они также могут повлиять на доступность и исследовательскую ценность данных. В будущем необходимо разработать более совершенные технологии защиты конфиденциальности, такие как федеративное обучение и дифференциальная конфиденциальность, чтобы максимально повысить научно-исследовательскую ценность данных, одновременно защищая конфиденциальность пациентов [46].

Алгоритмическая предвзятость и справедливость

Еще одной важной этической проблемой в приложениях ИИ является алгоритмическая предвзятость. Если в обучающих данных присутствуют системные предубеждения, модели ИИ могут усилить эти предубеждения и привести к несправедливым медицинским решениям.

Исследования показали, что некоторые модели ИИ работают по-разному в разных группах населения, например, в зависимости от цвета кожи, возраста, пола и других факторов. Для решения этой проблемы требуются разнообразные данные для обучения, инструменты оценки справедливости, а также постоянный мониторинг и настройка модели. Только обеспечив справедливость систем ИИ, можно добиться их широкого и эффективного применения в травматологии [47].

Распределение ответственности в клинической практике

Применение ИИ в травматологии изменило традиционную модель принятия медицинских решений и размывло границы ответственности. Кто несет ответственность за результаты принятия решений с использованием ИИ? Кто использует ИИ: разработчики ИИ, медицинские учреждения или врачи?

Этот вопрос затрагивает сложные правовые и этические аспекты. В будущем необходимо будет разработать четкую структуру ответственности и стандартные операционные процедуры, чтобы прояснить обязанности и обязательства всех сторон и обеспечить руководство для клинической практики. В то же время необходимо разработать более надежные системы ИИ, чтобы гарантировать прозрачность и объяснимость процессов принятия решений, а также облегчить подотчетность и оценку [48].

Будущие направления развития и предложения по исследованиям

Применение ИИ в травматологии все еще находится на стадии разработки, и будущие направления исследований и сценарии применения заслуживают глубокого обсуждения. Исходя из текущего состояния исследований и клинических потребностей, мы предлагаем следующие направления дальнейшего развития и предложения по исследованиям.

Мультимодальное слияние данных

Данные о пациентах с травмами поступают из разных источников, включая визуализационные исследования, результаты лабораторных исследований, показатели жизнедеятельности, историю болезни и т. д. Важным направлением исследований является то, как эффективно интегрировать эти данные из разных источников и построить более полную и точную модель ИИ.

В будущих исследованиях можно будет изучить более продвинутой архитектуры глубокого обучения, такие как графовые нейронные сети, механизмы внимания и т. д., чтобы лучше улавливать сложные взаимосвязи

между различными источниками данных. В то же время необходимо также разработать методы интеграции и стандартизации данных, чтобы гарантировать, что данные из разных источников могут быть эффективно интегрированы и проанализированы [49].

Персонализированное принятие медицинских решений

Пациенты с травмами имеют существенные индивидуальные различия. Важным направлением применения ИИ является обеспечение принятия индивидуальных медицинских решений с учетом индивидуальных особенностей пациентов. Будущие системы искусственного интеллекта должны иметь возможность учитывать множество факторов, таких как возраст пациента, сопутствующие заболевания, генетические характеристики, предпочтения и т. д., и рекомендовать индивидуальные планы лечения.

Принятие персонализированных медицинских решений требует больших объемов индивидуальных данных и передовых методов машинного обучения. Будущие исследования могут изучить персонализированные модели принятия решений, основанные на обучении с подкреплением, которые способны изучать оптимальные стратегии принятия решений в ходе непрерывного взаимодействия с пациентами и корректировать их на основе отзывов и ответов пациентов [50].

Телемедицина и экстренное реагирование

Использование ИИ в телемедицине при травмах и реагировании на чрезвычайные ситуации имеет большой потенциал. Объединив технологию ИИ, удаленную связь и мобильные устройства, можно обеспечить своевременную оценку и руководство пациентами с травмами в отдаленных районах, что повысит эффективность реагирования на чрезвычайные ситуации.

Будущие исследования могут изучить системы телемедицины с искусственным интеллектом на основе технологии 5G, которые могут обеспечить удаленную диагностику и поддержку принятия решений в режиме реального времени в сетевой среде с малой задержкой. В то же время можно также изучить применение ИИ в медицине катастроф и инцидентах с массовыми жертвами, например, для автоматической классификации жертв, прогнозирования медицинских потребностей и оптимизации распределения ресурсов [51].

Заключение

Применение ИИ в травматологии показало большой потенциал. От диагностического анализа изображений до поддержки принятия решений о лечении, от прогнозирования реабилитации до образования и обучения – технологии ИИ меняют подходы к оказанию травматологической помощи. Алгоритмы глубокого обучения способны быстро и точно анализировать сложные медицинские данные, обеспечивать объективную и надежную поддержку принятия решений, а также предоставлять

более точные и эффективные медицинские услуги пациентам с травмами.

Однако применение ИИ в травматологии также сталкивается со многими проблемами, включая конфиденциальность и безопасность данных, алгоритмическую предвзятость и справедливость, а также распределение ответственности в клинической практике. Решение этих проблем требует междисциплинарного сотрудничества, включая совместные усилия медицинских экспертов, исследователей ИИ, специалистов по этике, политиков и т. д.

В будущем, благодаря постоянному развитию технологий ИИ и постоянному расширению сфер применения, можно ожидать, что ИИ будет играть более важную роль в травматологии и предоставлять более качественные медицинские услуги пациентам с травмами по всему миру. Ожидается, что благодаря постоянным исследованиям и практике ИИ станет важным помощником в травматологии, повысит эффективность лечения, улучшит прогноз для пациентов и в конечном итоге достигнет идеала «нулевой смертности и нулевой инвалидности» в лечении травм.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Середина А.П., Джавадов А.А., Черный А.А. Искусственный интеллект в травматологии и ортопедии. Реальность, фантазия или обман? // Травматология и ортопедия России. – 2024. – Т.30. – №2. – С.181-191. [Seredina AP, Dzhavadov AA, Chernyy AA. Artificial Intelligence in Traumatology and Orthopedics. Reality, Fantasy or Deception? *Traumatology i ortopedia Rossii*. 2024; 30(2): 181-191. (In Russ.)] doi: 10.17816/2311-2905-17468.
2. Hamet P, Tremblay J. Artificial intelligence in medicine. *Metabolism*. 2017; 69: 36-40. doi: 10.1016/j.metabol.2017.01.011.
3. Тополь Э. Искусственный интеллект в медицине. Как умные технологии меняют подход к лечению. – М.: Альпина Диджитал, 2019. [Topol E. Artificial intelligence in medicine. How smart technologies change the approach to treatment. М.: Alpina Digital Publ., 2019. (In Russ.)]
4. Mintz Y, Brodie R. Introduction to artificial intelligence in medicine. *Minim Invasive Ther Allied Technol*. 2019; 28: 73-81. doi: 10.1080/13645706.2019.1575882.
5. Labovitz DL, Shafner L, Reyes Gil M, Virmani D, Hanina A. Using artificial intelligence to reduce the risk of nonadherence in patients on anticoagulation therapy. *Stroke*. 2017; 48: 1416-9. doi: 10.1161/STROKEAHA.116.016281.
6. Mayo RC, Leung J. Artificial intelligence and deep learning – radiology's next frontier? *Clin Imaging*. 2018; 49: 87-8. doi: 10.1016/j.clinimag.2017.11.007.
7. Abujaber A, Fadlalla A, Gammoh D, Abdelrahman H, Mollazehi M, El-Menyar A. Using trauma registry data to predict prolonged mechanical ventilation in patients with traumatic brain injury: machine learning approach. *PLoS ONE*. 2020; 15(7): e0235231.
8. Ahmed FS, Ali L, Joseph BA, Ikram A, Ul Mustafa R, Bukhari SAC. A statistically rigorous deep neural-network approach to predict mortality in trauma patients admitted to the intensive-care unit. *J Trauma Acute Care Surg*. 2020; 89(4): 736-42.
9. Hale AT, Stonko DP, Lim J, Guillaumondegui OD, Shannon CN, Patel MB. Using an artificial neural network to predict traumatic-brain-injury outcomes. *J Neurosurg Pediatr*. 2018; 23(2): 219-26.
10. Matsuo K, Aihara H, Nakai T, Morishita A, Tohma Y, Kohmura E. Machine learning to predict in-hospital morbidity and mortality after traumatic brain injury. *J Neurotrauma*. 2020; 37(1): 202-10.
11. Hunter OF, Perry F, Salehi M, et al. Science fiction or clinical reality: a review of the applications of artificial intelligence along the continuum of trauma care. *World J Emerg Surg*. 2023; 18: 16. doi: 10.1186/s13017-022-00469-1.
12. AlMamlook RE, Kwayu KM, Alkasisbeh MR, Frefer AA. Comparison of machine learning algorithms for predicting traffic accident severity. In: *IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT)*. 2019: 272-6. doi: 10.1109/JEEIT.2019.8717393.
13. Bao J, Liu P, Ukkusuri SV. A spatiotemporal deep learning approach for city-wide short-term crash-risk prediction with multimodal data. *Accid Anal Prev*. 2019; 122: 239-54.
14. Mansoor U, Ratrouf NT, Rahman SM, Assi K. Crash severity prediction using two-layer ensemble machine learning model for proactive emergency management. *IEEE Access*. 2020; 8: 210750-62.
15. Torres-Garcia AA, Reyes-García CA, Villaseñor-Pineda L, Mendoza-Montoya O, eds. *Biosignal Processing and Classification Using Computational Learning and Intelligence*. Academic Press. 2022: 111-29.
16. Amiri AM, Sadri A, Nadimi N, Shams M. A comparison between artificial neural network and hybrid intelligent genetic algorithm in predicting the severity of fixed-object crashes among elderly drivers. *Accid Anal Prev*. 2020; 138: 105468.
17. Assi K. Prediction of traffic-crash-severity using deep neural networks: a comparative study. In: *International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing and Technologies (3ICT)*. 2020: 1-6. doi: 10.1109/3ICT51146.2020.9311974.
18. Nederpel CJ, Mokhtari AK, Alser O, Tsiligkaridis T, et al. Development of a field artificial-intelligence triage tool: Confidence in the prediction of shock, transfusion, and definitive surgical therapy in patients with truncal gunshot wounds. *J Trauma Acute Care Surg*. 2021; 90(6): 1054-60.
19. El Hechi MW, Maurer LR, Levine J, Zhuo D, et al. Validation of the artificial intelligence-based predictive optimal trees in emergency surgery risk (POTTER) calculator in emergency-general-surgery and emergency-laparotomy patients. *J Am Coll Surg*. 2021; 232(6): 912-9.
20. Gorczyca MT, Toscano NC, Cheng JD. The trauma-severity-model: An ensemble machine-learning approach to risk-prediction. *Comput Biol Med*. 2019; 108: 9-19.
21. Shahi N, Shahi AK, Phillips R, Shirek G, et al. Decision-making in pediatric-blunt-solid-organ-injury: A deep-learning approach to predict massive-transfusion, need-for-operative-management, and mortality-risk. *J Pediatr Surg*. 2021; 56(2): 379-84.
22. He W, Fu X, Chen S. Advancing polytrauma care: developing and validating machine learning models for early mortality prediction. *J Transl Med*. 2023; 21: 664. doi: 10.1186/s12967-023-04487-8.
23. Paydar S, Parva E, Ghahramani Z, Pourahmad S, et al. Do clinical and paraclinical findings have the power to predict critical conditions of injured patients after traumatic injury resuscitation? Using data-mining artificial intelligence. *Chin J Traumatol*. 2021; 24(1): 48-52.
24. Maurer LR, Bertsimas D, Bouardi HT, El Hechi M, et al. Trauma-outcome-predictor: An artificial-intelligence-interactive smartphone-tool to predict outcomes in trauma patients. *J Trauma Acute Care Surg*. 2021; 91(1): 93-9.
25. McCall HC, Richardson CG, Helgadottir FD, Chen FS. Evaluating a web-based social anxiety intervention: A randomized controlled trial among university students. *J Med Internet Res*. 2018; 20: e91. doi: 10.2196/jmir.8630.
26. Sinsky C, Colligan L, Li L, Prgomet M, et al. Allocation of physician time in ambulatory practice: A time and motion study in four specialties. *Ann Intern Med*. 2016; 165: 753-60. doi: 10.7326/M16-0961.
27. Cheng C-Y, Chiu I-M, Hsu M-Y, Pan H-Y, et al. Deep learning-assisted detection of abdominal free fluid in Morison's pouch during focused assessment with sonography in trauma. *Front Med*. 2021; 8: 707437.
28. Rashidi HH, Sen S, Palmieri TL, Blackmon T, et al. Early recognition of burn-and-trauma-related acute-kidney-injury: A pilot-comparison-of-machine-learning-techniques. *Scientific Reports*. 2020; 10(1): 205-6.
29. Stonko DP, Dennis BM, Betzold RD, Peetz AB, Gunter OL, Guillaumondegui OD. Artificial intelligence can predict daily trauma volume and average acuity. *J Trauma Acute Care Surg*. 2018; 85(2): 393-7.
30. Corban J, Lorange JP, Laverdiere C, Khoury J, et al. Artificial intelligence in the management of anterior cruciate ligament injuries. *Orthop J Sports Med*. 2021; 9(7): 23259671211014206. doi: 10.1177/23259671211014206.

31. Staziaki PV, Wu D, Rayan JC, Santo IDO, et al. Machine learning combining CT-findings and clinical-parameters improves prediction of length-of-stay and ICU-admission in torso-trauma. *Eur Radiol.* 2021; 31(7): 5434-41.
32. Worldwide Antimicrobial Resistance National/International Network Group (WARNING) Collaborators. Ten golden rules for optimal antibiotic use in hospital settings: the WARNING call to action. *World J Emerg Surg.* 2023; 18: 50. doi: 10.1186/s13017-023-00518-3.
33. Lisacek-Kiosoglous AB, Powlow AS, Fontalis A, Gabr A, et al. Artificial intelligence in orthopaedic surgery. *Bone Joint Res.* 2023; 12(7): 447-54. doi: 10.1302/2046-3758.127.BJR-2023-0111.R1.
34. Zhang X, Zhang D, Zhang X, Zhang X. Artificial intelligence applications in the diagnosis and treatment of bacterial infections. *Front Microbiol.* 2024; 15: 1449844. doi: 10.3389/fmicb.2024.1449844.
35. Nourelahi M, Dadboud F, Khalili H, Niakan A, Parsaei H. A machine-learning model for predicting favorable outcome in severe-traumatic-brain-injury patients after six-month follow-up. *Acute Crit Care.* 2022; 37: 45-52.
36. Rau CS, Wu SC, Chuang JF, Huang CY, Liu HT, Chien PC, et al. Machine-learning models of survival prediction in trauma patients. *Journal of Clinical Medicine.* 2019; 8(6): 799. doi: 10.3390/jcm8060799.
37. Kurmis AP, Ianunzio JR. Artificial intelligence in orthopedic surgery: Evolution, current state, and future directions. *Arthroplasty.* 2022; 4(1): 9. doi: 10.1186/s42836-022-00112-z.
38. El Hechi M, Gebran A, Bouardi HT, Maurer LR, et al. Validation of the artificial-intelligence-based trauma-outcomes-predictor (TOP) in patients aged ≥ 65 years. *Surgery.* 2022; 171(6): 1687-94.
39. Innocenti B, Radyul Y, Bori E. The use of artificial intelligence in orthopedics: Applications and limitations of machine learning in diagnosis and prediction. *Applied Sciences.* 2022; 12(21): 10775. doi: 10.3390/app122110775.
40. Kumar V, Patel S, Baburaj V, Vardhan A, et al. Current understanding on artificial intelligence and machine learning in orthopaedics – A scoping review. *J Orthop.* 2022; 34: 201-6. doi: 10.1016/j.jor.2022.08.020.
41. Masters K. Artificial intelligence in medical education. *Med Teacher.* 2019; 41(9): 976-980.
42. Katznelson G, Gerke S. The need for health AI ethics in medical school education. *AdvHealthSciEducTheoryPract.* 2021; 26(4): 1447-1458.
43. Гажва С.И., Горбатов Р.О., Ююрихина М.Н., Тетерин А.И., Янышева К.Л. 3D-технологии в медицине // Аддитивные технологии. – 2023. – №2. – С.70-77. [Gazhva SI, Gorbатов RO, Yuryukhina MN, Teteryn AI, Yanisheva KL. 3D Technologies in Medicine. *Additive Technologies.* 2023; 2: 70-77. (In Russ.)]
44. Park SH, Do KH, Kim S, et al. What Should Medical Students Know About Artificial Intelligence in Medicine? *Educ Eval Health Prof.* 2019; 16: 16-21.
45. Кошечкин К.А., Хохлов А.Л. Этические проблемы внедрения искусственного интеллекта в здравоохранении // Медицинская этика. – 2024. – №1. – С.12-19. [Koshechkin KA, Khokhlov AL. Ethical issues of artificial intelligence implementation in healthcare. *Meditsinskaya etika.* 2024; 1: 12-19. (In Russ.)] doi: 10.24075/medet.2024.006.
46. Хайдарова Н.Т.К. Конфиденциальность и защита данных с учетом применения искусственного интеллекта в рабочих процессах // Central Asian Journal of Education and Innovation. – 2024. – Т.3. – №5-3. – С.137-141. [Haydarova NTK. Konfidentsial'nost' i zashchita dannykh s uchetom primeneniya iskusstvennogo intellekta v rabochih protsessah. *Central Asian Journal of Education and Innovation.* 2024; 3(5-3): 137-141. (In Russ.)] doi: 10.5281/zenodo.11408148.
47. Cheng K, Guo Q, He Y, Lu Y, et al. Artificial intelligence in sports medicine: Could GPT-4 make human doctors obsolete? *Ann Biomed Eng.* 2023; 51(8): 1658-62. doi: 10.1007/s10439-023-03213-1.
48. Мельников А.А. Потенциальная ответственность врачей, использующих искусственный интеллект // Дальневосточный медицинский журнал. – 2024. – №1. – С.77-80. [Melnikov AA. Potential liability of doctors using artificial intelligence. *Dal'nevostochnyy meditsinskiy zhurnal.* 2024; 1: 77-80. (In Russ.)] doi: 10.35177/1994-5191-2024-1-13.
49. Ghantasala GS, Dilip K, Vidyullatha P, et al. Enhanced ovarian cancer survival prediction using temporal analysis and graph neural networks. *BMC Med Inform Decis Mak.* 2024; 24: 299. doi: 10.1186/s12911-024-02665-2.
50. Gyftopoulos S, Lin D, Knoll F, Doshi AM, Rodrigues TC, Recht MP. Artificial intelligence in musculoskeletal imaging: Current status and future directions. *AJR Am J Roentgenol.* 2019; 213(3): 506-13. doi: 10.2214/AJR.19.21117.
51. Шадеркин И.А. Роль искусственного интеллекта в телемедицине России // Журнал телемедицины и электронного здравоохранения. – 2019. – Т.5. – №1. – С.38-40. [Shaderkin IA. The role of artificial intelligence in telemedicine in Russia. *Zhurnal telemeditsiny i elektronogo zdravookhraneniya.* 2019; 5(1): 38-40. (In Russ.)] doi: 10.29188/2542-2413-2019-5-1-38-40.