



## ПРОДОЛЖЕННОЕ МЕДИЦИНСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Обзорная статья

УДК 616.7-08-031.81:681.3

<https://doi.org/10.52560/2713-0118-2025-4-81-91>

### Применение искусственного интеллекта при заболеваниях опорно-двигательного аппарата (обзор литературы)

Юлия Алексеевна Ушакова

ФГБОУ ВО «РязГМУ имени академика И. П. Павлова» Минздрава России, Рязань, Россия;  
<https://orcid.org/0009-0001-7362-5461>; jalekseeva97@bk.ru

#### Аннотация

**Цель исследования.** Анализ исследований, посвященных применению искусственного интеллекта (ИИ) при заболеваниях опорно-двигательного аппарата (ОДА) для определения эффективности внедрения новых технологий.

**Материалы и методы.** Для обзора литературы отобраны наиболее цитируемые исследования по применению ИИ в диагностике и лечении ОДА, размещенные в научных базах данных в открытом доступе.

**Результаты.** Исследования, описанные в обзоре научных статей, демонстрируют огромный потенциал ИИ в диагностике заболеваний опорно-двигательного аппарата и показывают, как он может быть полезным для врачей и пациентов.

**Заключение.** Внедрение искусственного интеллекта в ортопедию открывает новые горизонты для улучшения качества медицинского оборудования. Специализированная аппаратура, мобильные приложения не только облегчают процесс мониторинга состояния пациентов, но и делают его более персонализированным, что способствует быстрой и эффективной реабилитации. Новые технологии позволяют минимизировать время на стационарное лечение и оптимизировать ресурсы. Искусственный интеллект выводит диагностику и лечение на новый уровень, предсказывая сложные клинические результаты с высокой точностью.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, опорно-двигательный аппарат, искусственные нейронные сети

**Для цитирования:** Ушакова Ю. А. Применение искусственного интеллекта при заболеваниях опорно-двигательного аппарата (обзор литературы) // Радиология — практика. 2025;4:81-91. <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2025-4-81-91>

#### Источники финансирования

Исследование не финансировалось какими-либо источниками.

## **Конфликт интересов**

Автор заявляет, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов. Мнения, изложенные в статье, принадлежат автору рукописи. Автор подтверждает соответствие своего авторства международным критериям ICMJE.

## **Соответствие принципам этики**

Работа соответствует этическим нормам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2008 года и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003.

# **THE CONTINUED MEDICAL EDUCATION**

Review article

## **Application of Artificial Intelligence in Diseases of the Musculoskeletal Systems (Literature Review)**

**Yulia A. Ushakova**

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «I. P. Pavlov Ryazan State Medical University» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Ryazan, Russia;  
<https://orcid.org/0009-0001-7362-5461>; jalekseeva97@bk.ru

### **Abstract**

**Aim.** The analysis of scientific articles devoted to the use of artificial intelligence (AI) in diseases of the musculoskeletal system (ODE) to determine the effectiveness of the introduction of new technologies based on artificial intelligence.

**Materials and Methods.** For the literature review, the most cited studies on the use of AI in the diagnosis and treatment of ODE were selected, which are publicly available in scientific databases.

**Results.** The research described in the review of scientific articles demonstrates the great potential of artificial intelligence in the diagnosis of diseases of the musculoskeletal system and shows how it can be useful for doctors and patients.

**Conclusion.** The introduction of artificial intelligence in orthopedics opens up new horizons for improving the quality of medical care. Specialized equipment and mobile applications not only facilitate the monitoring of patients' condition, but also make it more personalized, which contributes to rapid and effective rehabilitation. New technologies make it possible to minimize hospital treatment time and optimize resources. Artificial intelligence advances diagnosis and treatment to a new level by predicting complex clinical outcomes with high accuracy.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Musculoskeletal System, Artificial Neural Networks

**For citation:** Ushakova Y. A. The Use of Artificial Intelligence in Diseases of the Musculoskeletal System (Literature Review). *Radiology – Practice*. 2025;4:81-91. (In Russ.). <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2025-4-81-91>

### **Funding**

The study was not funded by any sources.

### **Conflicts of Interest**

The author state that this work, its topic, subject and content do not affect competing interests. The opinions expressed in the article belong to the authors of the manuscript. The

author confirm the compliance of their authorship with the international ICMJE criteria (author have made a significant contribution to the development of the concept, the preparation of the article, read and approved the final version before publication).

### **Compliance with Ethical Standards**

The work complies with the ethical standards of the Helsinki Declaration of the World Medical Association «Ethical Principles of conducting scientific medical research with human participation» as amended in 2008 and the «Rules of Clinical Practice in the Russian Federation» approved by the Order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated 06/19/2003.

## **Введение**

Заболевания опорно-двигательного аппарата (ОДА) имеют высокую распространенность по всему миру. По данным Всемирной организации здравоохранения, на 2021 г. более 1,71 млрд человек имеют проблемы с ОДА [1]. Диагностика различных патологических процессов данной группы заболеваний бывает затруднительной, поэтому разработка новых методов, помогающих установить точный диагноз, является весьма актуальной. Одной из новейших технологий диагностики и лечения является искусственный интеллект (ИИ), который обладает огромным потенциалом и предоставляет большую возможность для улучшения точности диагностики, прогнозирования и лечения заболеваний ОДА.

**Цель:** анализ научных статей, посвященных применению искусственного интеллекта при заболеваниях опорно-двигательного аппарата для определения эффективности внедрения новых технологий на основе искусственного интеллекта.

## **Материалы и методы**

Для поиска литературы были использованы базы данных PubMed, Google Scholar, электронная библиотека Elibrary.

В обзор вошли часто цитируемые исследования, опубликованные за период с 2017 по 2023 г., которые содержат

данные о применении ИИ при заболеваниях ОДА.

Поиск проведен по ключевым словам Artificial Intelligence (AI), Musculoskeletal System (MS), Artificial Neural Network (ANN), отобраны публикации на английском языке. Критерии исключения: повторяющиеся данные, отсутствие доступа к полному тексту статьи. Проверку публикаций на соответствие критериям включения/исключения выполняла автор статьи, изучая публикации на языке первоисточника. Всего для исследования было отобрано 24 источника.

## **Результаты исследования**

Концепция сети передачи данных между физическими объектами объединяет умные устройства: компьютеры и носимые на человеке специализированные датчики (часы, фиксаторы), которые собирают и передают данные в систему искусственного интеллекта для интерпретации в ортопедии. Одно из приложений «Мобильное здравоохранение» (mobile Health) использует ИИ для передачи данных после тотальной артрапластики коленного сустава на платформы дистанционного мониторинга пациентов. Оно собирает данные (количество пройденных шагов, амплитуду движений, выполнение упражнений дома) в режиме реального времени для оценки эффективности реабилитации

и персонализации дальнейшей тактики лечения [19]. Эта технология позволяет удаленно контролировать состояние ортопедического пациента и вовремя корректировать программу.

Носимые сенсорные устройства (WSD – Wearable Sensor Devices) и виртуальная реальность (VR – Virtual Reality) – это цифровые технологии, способные оценить ортопедическую помощь. WSD, включая умные часы, отслеживали движение, положение и жизненные показатели, способствуя здоровому образу жизни и удаленному мониторингу пациентов. Они позволили определить параметры походки. VR также может использоваться для дистанционной физической терапии (ФТ) у пациентов с артритом тазобедренного и коленного суставов, демонстрируя результаты, сопоставимые с результатами традиционной ФТ [2]. Эти технологии могут упростить оказание медицинской помощи, потенциально создавая гибрид: цифровую ортопедию.

В 2019 г. Bloomfield R. A., Williams H. A., Broberg J. S. и соавт. провели исследование, где изучили использование носимых датчиков в виде умных часов и машинного обучения для анализа функциональных показателей у пациентов с эндопротезированием коленного сустава. Группу из 68 пациентов, перенесших тотальную артропластику коленного сустава, оснастили носимой системой и поделили на 2 группы (46 и 22) на основании 55 показателей, которые получили в ходе хронометрических тестов до операции и на 2, 6 и 12-й нед наблюдения. С помощью алгоритма K-means пациенты были разделены на функциональные группы, которые проанализированы на предмет различий в показателях и улучшений в период раннего восстановления. Группа с большим улучшением ( $n = 22$ ) сократила время тестирования на 4,94 с, в то время как в другой группе улучшение не превысило минимально значимого клинического различия. Данная работа поддерживает использование но-

смых датчиков и машинного обучения для определения клинически значимых параметров и улучшения функциональных показателей у пациентов с эндопротезированием коленного сустава [3].

Рентгенологи визуально просматривают десятки изображений и, основываясь на своих знаниях, опыте и понимании нормальной рентгенограммы, способны находить отклонения на основе изменений интенсивности изображений или появления новых структур. Hosny A., Parmar C., Quackenbush J. и соавт. в 2018 г. разработали автоматизированный метод выявления и обработки определенных признаков CADe (Computer-aided design) [9]. CADe сводит критерии, определенные рентгенологом, где компьютерные алгоритмы выделяют объекты на изображении, но эти алгоритмы являются специфичными для конкретной задачи и не обобщаются по заболеваниям и методам визуализации. Данный метод позволяет выявлять патологии ОДА с высокой точностью, а также повысить эффективность диагностики.

В одном из исследований Galbusera F., Casaroli J. и Bassani T., проведенном в 2019 г., описываются различные виды применения ИИ. Авторы утверждают, что методы, которые основываются на статистике (линейная регрессия, логистическая регрессия, классификатор Байеса), машины опорных векторов, древо решений классификаций и регрессий и др. помогают не только в диагностике заболеваний ОДА, но и в тактике лечения пациентов. Так, классификатор Байеса, основанный на одноименном законе, используется для классификации переломов позвонков. Древо решений классификаций и регрессий является более сложной моделью ИИ. Все эти методы ИИ помогают не только в определении расположения позвонков, дисков и формы позвоночника посредством анализа снимков компьютерной томографии (КТ), магнитно-резонансной томографии (МРТ), рентгенологического

исследования, но и в принятии решений в дальнейшей тактике лечения пациента путем представления возможных прогнозов [7].

Искусственные нейронные сети (ANN – Artificial Neural Network) с высокой степенью достоверности предсказывают госпитализацию, остроту и тяжесть травмы в травматологическом центре [5]. После сбора данных о госпитализациях за три года, обучения двухуровневой ANN с прямой связью и расчета коэффициента продуктивно-моментной корреляции Пирсона результаты показали высокую корреляцию 0,8732 между прогнозируемыми и фактическими данными. ANN успешно спрогнозировала объем и остроту травмы в нескольких медицинских центрах с высоким уровнем надежности, что может стать основой для распределения ресурсов как на уровне травматологической системы, так и на уровне отдельных больниц [8].

В 2015 г. Американский колледж хирургов представил NBATS (Needs Based Assessment of Trauma Systems – оценка потребностей систем травматологии) для определения оптимального количества травматологических центров. В данном исследовании оценивается NBATS-2 – с использованием расширенного географического моделирования – в крупной региональной травматологической системе [6]. Данные за 2016–2017 гг. о пациентах с тяжестью травмы > 15 баллов были собраны из регистра травматологических центров. Расположение травм и демографические показатели были проанализированы по почтовым индексам, а пространственное моделирование проводилось с помощью программы ArcGIS (ведущая технология географической информационной системы, которая интегрирует и связывает данные через географический контекст). Результаты дали понять, что добавление одного городского травматологического центра оказалось минимальное влияние на охват

профильных пострадавших, в то время как добавление двух сельских специализированных центров значительно увеличило реальную помощь пациентам. Геопространственное моделирование NBATS-2 может помочь в планировании травматологической системы, оценивая изменения в численности населения и охвате травматологическими услугами, а также потенциальные объемы и финансовые последствия.

В исследовании, проведенном в 2022 г. Lee K. C., Hsu C. C., Lin T. C. и соавт., использовалось машинное обучение для прогнозирования количества травматологических пациентов на основе многочисленных клинических признаков. Традиционные статистические методы с трудом справлялись с большими массивами данных и сложными переменными, но машинное обучение позволяло одновременно обрабатывать несколько переменных с большей предсказательной силой. Была создана краткосрочная модель с ограниченным количеством переменных для врачей скорой помощи и хирургов-травматологов. Тяжесть травмы и ее оценка являлись ключевыми прогностическими факторами. Проблемы включали неправильную классификацию возрастных групп, вариабельность исходов и несбалансированное распределение пациентов. Небольшое число пациентов с внебольничной остановкой сердца повлияло на прогностическую силу. В будущих исследованиях для повышения точности следует рассмотреть возможность отбора тяжелых пациентов, доставленных службами скорой медицинской помощи [15].

Данные корейских исследований показали оборудование VUNO (View the Invisible, Know the Unknown), основанное на искусственном интеллекте, определяющее возраст костей с помощью распознавания образов рентгеновских снимков, помогая диагностировать проблемы роста с разницей в среднем в 0,9 мес по сравнению с оценками врачей.

Ожидается, что устройство позволит сократить время, затрачиваемое врачами на анализ информации, и будет учиться на основе периодического обновления изображений. Еще три медицинских устройства с искусственным интеллектом проходят испытания при государственной поддержке развития передовых медицинских технологий [14].

Одним из наиболее часто встречающихся заболеваний ОДА является ревматоидный артрит (РА). В своем исследовании 2022 г. Momtazmanesh S., Nowroozi A., Rezaei N. дают понять, что ИИ помогает не только в диагностике и лечении данного заболевания, но и непосредственно участвует в первичной профилактике и реабилитации пациентов. Первичная профилактика сводится к выявлению группы риска, для этого используется такие методы ИИ, как «случайный лес» [18]. В настоящее время для диагностики ревматоидного артрита используется исследование определения антител к циклическому цитруллин-содержащему пептиду (АЦЦП). Но регрессионная модель ИИ с использованием совокупности белков организма позволяет проанализировать вероятность развития ревматоидного артрита у родственников первой линии. Авторы делают акцент на том, что при диагностике данной патологии имеет значение анализ «омики» (совокупность геномики, транскриптомики, протеомики, метаболомики, липидомики или метагеномики) с помощью методов ИИ. Это помогает оценить взаимосвязь различных биомолекул с развитием РА. Благодаря этому методу исследования была создана панель кодирующих РНК в сыворотке/плазме крови, которая позволяет точно установить диагноз РА. Это исследование показывает, насколько ИИ облегчает диагностику заболеваний опорно-двигательного аппарата.

Эффективность тотальной арthroplastiki tazobedrennogo sustava povysila'se blagodarya sovershenstvovaniyu

хирургической техники и материалов для протезов, однако выбор типа протеза является сложной задачей из-за разнообразия конструкций. Технология глубокого обучения в искусственном интеллекте позволяет точно определять и диагностировать заболевания тазобедренного сустава и особенности их КТ-изображений, что делает ее эффективной для предоперационного планирования арthroplastiki tazobedrennogo sustava [4, 12]. ИИ смог быстро и точно подобрать необходимую модель протеза, повышая эффективность предоперационного планирования и снижая количество послеоперационных осложнений.

В исследовании Jodeiri A., Zoroofi R. A., Hiasa Y. и соавт. в 2020 г. был опубликован новый метод точной оценки функционального наклона таза (ФНТ) для планирования тотальной арthroplastiki tazobedrennogo sustava, направленный на снижение лучевой нагрузки на пациента. Метод сочетает в себе сеть Mask R-CNN (Mask Region-based Convolutional Neural Network) для сегментации формы таза и нейронную сеть для регрессии угла PSI, используя трансферное обучение и увеличение данных. Mask R-CNN с многозадачным обучением превосходит U-Net (нейронная сеть, предназначенная для быстрой и точной сегментации изображений), а каскадная система оценивает сагиттальный наклон таза (PSI – Pelvic Sagittal Inclination) с ошибкой  $4,04^\circ \pm 3,39^\circ$  для рентгенографических изображений [10]. Эта автоматическая и надежная оценка PSI может расширить возможности планирования развития тромбоэмболии легочной артерии (ТЭЛА) в больницах без КТ-сканирования.

Хирургическое лечение осложнений, связанных с пациентами, перенесшими эндопротезирование тазобедренного сустава, требует точной идентификации производителя и модели бедренного имплантата. Karnuta J. M., Haeblerle H. S., Luu B. C., Roth A. L. и соавт. в 2020 г. ис-

следовали систему глубокого обучения, которая была запрограммирована на возможность классифицировать модели имплантатов тазобедренного сустава на основе рентгенограмм 1972–2017 гг. 1715 пациентов из 4 центров. Система точно распознала 18 моделей имплантатов с точностью 99,6 %, чувствительностью 94,3 % и специфичностью 99,8 %, продемонстрировав потенциал для точной идентификации имплантатов тазобедренного сустава и повышения качества медицинской помощи [11].

Позже, в 2022 г., Li Y-Y., Wang J-J., Huang S-H. и соавт. разработали компьютерную программу на основе машинного обучения для оценки риска осложнений у пациентов после операции на тазобедренном суставе [16]. Было установлено, что приложение, интегрированное в больничную систему, превосходит существующие методы в прогнозировании неблагоприятных исходов, таких как госпитальная смертность, острый инфаркт миокарда, инсульт и сепсис. Приложение показало более высокую точность в прогнозировании вероятности госпитализации в отделение интенсивной терапии и длительного пребывания в стационаре. Анестезиологи отметили высокую удовлетворенность веб-приложением.

В 2019 г. создана Лаборатория артропластики с машинным обучением (MLAL – Machine Learning Arthroplasty Laboratory), которая использует искусственный интеллект для медицины опорно-двигательного аппарата, преследуя две основные цели: ориентированный на пациента ценностный уход и движение человека [22]. Ramkumar P. N., Haeberle H. S., Bloomfield M. R. и соавт. в 2019 г. в MLAL разработали модели машинного обучения для эндопротезирования нижних конечностей, прогнозирующие такие показатели, как стоимость, продолжительность пребывания в больнице и показания к выписке, с учетом риска для конкретного пациен-

та. Кроме того, они создали реестр данных о передвижении пациентов после тотальной артропластики коленного сустава для дистанционного мониторинга соблюдения терапии, результатов, приема лекарственных препаратов, подвижности и диапазона движения сустава. Работа MLAL демонстрирует ценность искусственного интеллекта в эндопротезировании, улучшая результаты лечения пациентов и практику ортопедии.

В исследовании, проведенном в 2019 г. Urakawa T., Tanaka Y., Goto S., Matsuzawa H., Watanabe K., Endo N., сравнивалась способность нейронной сети диагностировать межвертельные переломы бедренной кости на рентгенограммах проксимального отдела тазобедренной кости в ограниченных условиях с результатами работы хирургов-ортопедов [24]. Отобрали 3346 изображений тазобедренного сустава, которые использовали для сравнения работы CNN (Convolutional Neural Network) и врачей. Нейронная сеть имела более высокую точность, чувствительность и специфичность. Сеть может быть полезным инструментом для скрининга переломов, особенно в условиях, когда хирурги-ортопеды не всегда доступны.

Liu F., Zhou Z., Jang H. и соавт. в 2018 г. описали новый автоматизированный метод сегментации опорно-двигательного аппарата при МРТ коленного сустава с использованием SegNet (нейронная сеть, разработанная для классификации пикселей изображения в определенную категорию для детальной и точной сегментации) и 3D-симплексного деформируемого моделирования. Предложенный метод превзошел большинство современных методов сегментации на общедоступном наборе данных визуализации коленного сустава и продемонстрировал универсальность в сегментации как морфологических, так и количественных МР-изображений опорно-двигательного аппарата с различными тканевыми контрастами. Исследование показывает, что

комбинированный подход с использованием CNN и 3D-деформируемого моделирования полезен для быстрой и точной сегментации хряща и кости в коленном суставе и может найти перспективное применение в визуализации опорно-двигательного аппарата [17].

Боль в спине является распространенной проблемой, и ее диагностика часто включает в себя компьютерную томографию (КТ). Чтобы улучшить диагностику, Kim Y. J., Ganbold B., Kim K. W. в 2020 г. разработали веб-систему, использующую глубокое обучение для автоматической сегментации позвоночника из КТ-сканов [13]. Для этой модели взято 344 изображения. Оценка производительности включала такие критерии: чувствительность, коэффициент сходства Дайса (DSC – The Dice Similarity Coefficient). Предполагаемая система достигла высокой производительности при сегментации позвоночника. Также система доступна каждому и не требует специального оборудования.

Искусственный интеллект также используют для анализа стандартных рентгенограмм. В 2017 г. Olczak J., Fahlberg N., Maki A. и соавт. изучили использование глубокого обучения, разновидности искусственного интеллекта для классификации скелетных рентгенограмм в ортопедических учреждениях. Было получено 256 000 рентгенограмм запястья, кисти и голеностопа и поделено на четыре класса: перелом, смещение, часть тела и вид осмотра. Пять сетей глубокого обучения были отобраны и сравняны по точности. Установлено, что наилучшая сеть имеет точность 83 % для переломов, что соответствует мнению старших хирургов-ортопедов, и 90 % для оценки смещения, части тела и вида осмотра [20]. Несмотря на некоторые ограничения, такие как недостаточное количество данных и неоднозначность изображений, глубокое обучение показало многообещающие результаты при классификации ортопедических рентгено-

грамм. Потенциальное влияние этой технологии включает в себя крупномасштабный анализ изображений, выявление новых паттернов и помочь в классификации переломов. Исследование также подчеркивает необходимость улучшения маркировки изображений и использования нескольких изображений для классификации

Pranata Y., Wang K-C., Wang J-C. и соавт. в 2019 г. провели исследование по глубокому обучению и методу ускоренных надежных признаков SURF (Speeded-Up Robust Features) для автоматизированной классификации и обнаружения переломов пятонной кости на КТ-изображениях [21]. CNN (Convolutional Neural Network) были успешно использованы для классификации переломов, а SURF – для обнаружения областей переломов. КТ-изображения были разделены на переломы и без переломов, а затем были просмотрены врачами для сравнения. Метод показал высокую точность в классификации переломов пятонной кости и обнаружении их местонахождения на КТ. Время выполнения было также сокращено по сравнению с традиционными методами диагностики непосредственно врачами.

Шах Р.Ф., Бини С.А., Мартинес А.М. в 2020 г. исследовали методологию для точного и автоматического измерения толщины хряща коленного сустава на МРТ большой популяции пациентов, что важно для мониторинга остеоартрита (ОА). Авторы применили современные методы машинного обучения (МО). Результаты показали, что у здоровых женщин и пациентов с низким индексом массы тела (ИМТ) хрящ тоньше, чем у мужчин и пациентов с высоким ИМТ [23]. Также обнаружено, что дистальный бедренный хрящ значительно тоньше заднего хряща. Исследование подтвердило, что пожилые пациенты без ОА имеют более тонкий хрящ по сравнению с молодыми. Данные результаты были получены с помощью автоматизирован-

ной сегментации хряща, что обеспечило высокую эффективность анализа почти 4000 МРТ. Метод позволяет отслеживать прогрессирование заболевания в динамике и оценить методы лечения заболеваний суставного хряща.

## Заключение

Исследования в области применения искусственного интеллекта при заболеваниях опорно-двигательного аппарата продолжаются, и представленные статьи подтверждают потенциал этой технологии в улучшении диагностики, лечения и реабилитации пациентов. Применение ИИ в медицине позволяет сократить время обработки данных, улучшить точность диагнозов и разработать индивидуальные подходы к лечению.

Современные технологии, такие как 3D-планирование и анализ данных, делают возможным своевременное выявление и лечение заболеваний, что позволяет повысить качество жизни пациентов. Геопространственное распределение госпитальных ресурсов в региональных травматологических системах позволяет оптимизировать распределение больниц, что, в свою очередь, улучшает доступ к важным медицинским услугам.

Кроме того, использование искусственного интеллекта для анализа рентгенограмм является перспективным направлением в диагностике заболеваний, повышает точность, определяют костный возраст с целью раннего выявления проблем роста, а также экономит время медицинского персонала, позволяя сосредоточиться на лечении. Веб-система сегментации позвоночника с использованием глубокого обучения является точным и эффективным инструментом, который может помочь врачам в диагностике болей в спине.

В дальнейшем развитии этой области необходимо учитывать эти исследования и стремиться к усовершенствованию ИИ-систем, способных улучшить результаты лечения и обеспечить более

эффективное управление заболеваниями опорно-двигательного аппарата.

## Список источников / References

1. Заболевания опорно-двигательного аппарата // Всемирная организация здравоохранения. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions> (дата обращения: 29.07.2024). Musculoskeletal health. World Health Organization. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions> (date of application: 29.07.2024). (In Russ.).
2. Bini S. A., Schilling P. L., Patel S. P., Kalore N. V., Ast M. P., Maratt J. D., Schuett D. J., Lawrie C. M., Chung C. C., Steele G. D. Digital Orthopaedics: A Glimpse Into the Future in the Midst of a Pandemic. *J. Arthroplasty*. 2020;35(7S):S68-S73. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2020.04.048>
3. Bloomfield R. A., Williams H. A., Broberg J. S., Lanting B. A., McIsaac K. A., Teeter M. G. Machine Learning Groups Patients by Early Functional Improvement Likelihood Based on Wearable Sensor Instrumented Preoperative Timed-Up-and-Go Tests. *J. Arthroplasty*. 2019;34(10):2267-2271. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2019.05.061>
4. Cilla M., Borgiani E., Martínez J., Duda G. N., Checa S. Machine learning techniques for the optimization of joint replacements: Application to a short-stem hip implant. *PLoS One*. 2017;12(9):e0183755. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183755>
5. Dennis B. M., Stonko D. P., Callcut R. A., Sidwell R. A., Stassen N. A., Cohen M. J., Cotton B. A., Guillamondegui O. D. Artificial neural networks can predict trauma volume and acuity regardless of center size and geography: A multicenter study. *J. Trauma Acute Care Surg*. 2019;87(1):181-187. <https://doi.org/10.1097/TA.00000000000002320>

6. Dooley J. H., Ozdenerol E., Sharpe J. P., Magnotti L. J., Croce M. A., Fischer P. E. Location, location, location: Utilizing Needs-Based Assessment of Trauma Systems-2 in trauma system planning. *J. Trauma Acute Care Surg.* 2020;88(1):94-100. <https://doi.org/10.1097/TA.00000000000002463>
7. Galbusera F., Casaroli G., Bassani T. Artificial intelligence and machine learning in spine research. *JOR Spine.* 2019;2(1): e1044. <https://doi.org/10.1002/jsp2.1044>
8. Ghaffar Nia N., Kaplanoglu E., Nasab A. Evaluation of artificial intelligence techniques in disease diagnosis and prediction. *J. Discov Artif Intell.* 2023;3(5). <https://doi.org/10.1007/s44163-023-00049-5>
9. Hosny A., Parmar C., Quackenbush J., Schwartz L. H., Aerts H. J. W. L. Artificial intelligence in radiology. *Nat Rev Cancer.* 2018;18(8):500-510. <https://doi.org/10.1038/s41568-018-0016-5>
10. Jodeiri A., Zoroofi R. A., Hiasa Y., Takao M., Sugano N., Sato Y., Otake Y. Fully automatic estimation of pelvic sagittal inclination from anterior-posterior radiography image using deep learning framework. *Comput Methods Programs Biomed.* 2020;184:105282. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2019.105282>
11. Karnuta J. M., Haeberle H. S., Luu B. C., Roth A. L., Molloy R. M., Nystrom L. M., Piuzzi N. S., Schaffer J. L., Chen A. F., Iorio R., Krebs V. E., Ramkumar P. N. Artificial Intelligence to Identify Arthroplasty Implants From Radiographs of the Hip. *J. Arthroplasty.* 2021;36(7S):S290-S294.e1. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2020.11.015>
12. Karnuta J. M., Navarro S. M., Haeberle H. S., Billow D. G., Krebs V. E., Ramkumar P. N. Bundled Care for Hip Fractures: A Machine-Learning Approach to an Untenable Patient-Specific Payment Model. *J. Orthop Trauma.* 2019;33(7):324-330. <https://doi.org/10.1097/BOT.00000000001454>
13. Kim Y. J., Ganbold B., Kim K. G. Web-Based Spine Segmentation Using Deep Learning in Computed Tomography Images. *Healthc Inform Res.* 2020;26(1):61-67. <https://doi.org/10.4258/hir.2020.26.1.61>
14. Lee Han-soo. Ministry approves Korea's first AI-based medical device. *Korea Biomedical Review.* URL: <https://www.koreabiomed.com/news/articleView.html?idxno=3294> (date of application: 29.07.2024).
15. Lee K. C., Hsu C. C., Lin T. C., Chiang H. F., Horng G. J., Chen K. T. Prediction of Prognosis in Patients with Trauma by Using Machine Learning. *Medicina (Kaunas).* 2022;58(10):1379. <https://doi.org/10.3390/medicina58101379>
16. Li Y. Y., Wang J. J., Huang S. H., Kuo C. L., Chen J. Y., Liu C. F., Chu C. C. Implementation of a machine learning application in preoperative risk assessment for hip repair surgery. *BMC Anesthesiol.* 2022;22(1):116. <https://doi.org/10.1186/s12871-022-01648-y>
17. Liu F., Zhou Z., Jang H., Samsonov A., Zhao G., Kijowski R. Deep convolutional neural network and 3D deformable approach for tissue segmentation in musculoskeletal magnetic resonance imaging. *Magn Reson Med.* 2018;79(4):2379-2391. <https://doi.org/10.1002/mrm.26841>
18. Momtazmanesh S., Nowroozi A., Rezaei N. Artificial Intelligence in Rheumatoid Arthritis: Current Status and Future Perspectives: A State-of-the-Art Review. *Rheumatol Ther.* 2022;9(5):1249-1304. <https://doi.org/10.1007/s40744-022-00475-4>
19. Myers T. G., Ramkumar P. N., Ricciardi B. F., Urisch K. L., Kipper J., Ketonis C. Artificial Intelligence and Orthopaedics: An Introduction for Clinicians. *J. Bone Joint Surg Am.* 2020;102(9):830-840. <https://doi.org/10.2106/JBJS.19.01128>
20. Olczak J., Fahlberg N., Maki A., Razavian A. S., Jilert A., Stark A., Sköldenberg O., Gordon M. Artificial intelligence for analyzing orthopedic trauma radiographs. *Acta Orthop.* 2017;88(6): 581-586. <https://doi.org/10.1080/17453674.2017.1344459>

21. Pranata Y. D., Wang K. C., Wang J. C., Idram I., Lai J. Y., Liu J. W., Hsieh I. H. Deep learning and SURF for automated classification and detection of calcaneus fractures in CT images. *Comput Methods Programs Biomed.* 2019;171:27-37. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2019.02.006>
22. Ramkumar P. N., Haeberle H. S., Bloomfield M. R., Schaffer J. L., Kamath A. F., Patterson B. M., Krebs V. E. Artificial Intelligence and Arthroplasty at a Single Institution: Real-World Applications of Machine Learning to Big Data, Value-Based Care, Mobile Health, and Remote Patient Monitoring. *J. Arthroplasty.* 2019;34(10): 2204-2209. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2019.06.018>
23. Shah R. F., Martinez A. M., Pedoia V., Majumdar S., Vail T. P., Bini S. A. Variation in the Thickness of Knee Cartilage. The Use of a Novel Machine Learning Algorithm for Cartilage Segmentation of Magnetic Resonance Images. *J. Arthroplasty.* 2019; 34(10):2210-2215. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2019.07.022>
24. Urakawa T., Tanaka Y., Goto S., Matsuzawa H., Watanabe K., Endo N. Detecting intertrochanteric hip fractures with orthopedist-level accuracy using a deep convolutional neural network. *Skeletal Radiol.* 2019;48(2):239-244. <https://doi.org/10.1007/s00256-018-3016-3>

### Сведения об авторе / Information about the author

**Ушакова Юлия Алексеевна**, студентка 6 курса ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Рязань, Россия.

Вклад автора в публикацию: формирование концепции, написание текста статьи, сбор материала, анализ литературы.

**Ushakova Yulia Alekseevna**, 6th year student Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «I. P. Pavlov Ryazan State Medical University» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Ryazan, Russia

Author's contribution: conceptualization, writing the text draft, collection of material, writing the text of the article.

Статья поступила в редакцию 10.04.2025;  
одобрена после рецензирования 19.05.2025;  
принята к публикации 19.05.2025.

The article was submitted 10.04.2025;  
approved after reviewing 19.05.2025;  
accepted for publication 19.05.2025.