

УДК 616.1-036.22:616.72-002:004.8

**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЦИФРОВОЙ СТРАТИФИКАЦИИ  
И ДИНАМИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОГО РИСКА У  
БОЛЬНЫХ С АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ И РЕВМАТОИДНЫМ  
АРТРИТОМ**

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17850706>

**Шовкатова Мутабархон Нодировна**

**Рахимова Мадина Боходировна**

*Ташкентский государственный медицинский университет, Ташкент,  
Узбекистан*

**Аннотация**

В данной обзорной работе представлен анализ современных научных источников, посвящённых использованию технологий искусственного интеллекта для оценки и мониторинга сердечно-сосудистого риска у пациентов с артериальной гипертензией, протекающей на фоне ревматоидного артрита. Рассмотрены патогенетические механизмы сочетанного влияния хронического воспаления и сосудистых нарушений на развитие осложнений, а также возможности внедрения интеллектуальных алгоритмов в клиническую практику. Проведён сравнительный обзор существующих исследований, направленных на применение систем машинного обучения для прогнозирования неблагоприятных исходов, персонализации терапии и динамического наблюдения за состоянием больных.

**Ключевые слова**

искусственный интеллект, артериальная гипертензия, ревматоидный артрит, сердечно-сосудистый риск.

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DIGITAL STRATIFICATION AND  
DYNAMIC CONTROL OF CARDIOVASCULAR RISK IN PATIENTS WITH  
ARTERIAL HYPERTENSION AND RHEUMATOID ARTHRITIS**

**Shovkatova Mutabarhon Nodirovna**

**Rakhimova Madina Bokhodirovna**

*Tashkent State Medical University, Tashkent, Uzbekistan*

## Abstract

This review presents an analysis of modern scientific sources dedicated to the use of artificial intelligence technologies for assessing and monitoring cardiovascular risk in patients with arterial hypertension accompanied by rheumatoid arthritis. The paper examines the pathogenetic mechanisms of the combined influence of chronic inflammation and vascular dysfunction on the development of complications, as well as the possibilities of integrating intelligent algorithms into clinical practice. A comparative overview of existing studies is provided, focusing on the application of machine learning systems for predicting adverse outcomes, personalizing therapy, and conducting dynamic monitoring of patients' conditions.

## Keywords

artificial intelligence, arterial hypertension, rheumatoid arthritis, cardiovascular risk.

## АРТЕРИАЛ ГИПЕРТЕНЗИЯ ВА РЕВМАТОИД АРТРИТ БИЛАН КАСАЛЛАНГАН БЕМОРЛАРДА ЮРАК-ҚОН ТОМИР ХАВФИНИ РАҚАМЛИ СТРАТИФИКАЦИЯ ҚИЛИШ ВА ДИНАМИК НАЗОРАТДА СУНЪИЙ ИНТЕЛЛЕКТНИНГ ЎРНИ

**Шовкатова Мутабархон Нодирована**

**Рахимова Мадина Боходирована**

*Тошкент давлат тиббиёт университети, Тошкент, Ўзбекистон*

## Аннотация

Ушбу таҳлилий мақолада ревматоид артрит фонида кечувчи артериал гипертензияга эга беморларда юрак-қон томир хавфини баҳолаш ва мониторинг қилишда сунъий интеллект технологияларидан фойдаланиш бўйича замонавий илмий манбалар таҳлил қилинган. Хроник яллиғланиш ва қон томир тизимидаги ўзгаришларнинг асоратлар ривожланишига биргаликдаги таъсир патогенез механизми, шунингдек интеллектуал алгоритмларни клиник амалиётга жорий этиш имкониятлари кўриб чиқилган. Машинавий ўрганиш тизимларидан фойдаланиб, нохуш оқибатларни башорат қилиш, терапияни персоналлаштириш ва бемор ҳолатини динамик кузатишга қаратилган мавжуд тадқиқотлар таққослама таҳлили келтирилган.

## Калит сўзлар

сунъий интеллект, артериал гипертензия, ревматоид артрит, юрак-қон томир хавфи.

## Введение.

Ревматоидный артрит (РА) ассоциирован с 1,5–3-кратным увеличением частоты сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ), а сочетание с артериальной гипертензией (АГ), которая выявляется у значительной доли пациентов с РА, формирует особенно неблагоприятный профиль риска, сравнимый или превосходящий таковой при сахарном диабете. Современные европейские рекомендации EULAR подчёркивают необходимость регулярной оценки и коррекции сердечно-сосудистого риска (ССР) у больных ревматическими заболеваниями, включая РА, и одновременно фиксируют проблему систематического недоучёта этого риска традиционными шкалами, разработанными для общей популяции. Обновлённый документ EULAR 2022 г. отдельно отмечает, что существующие инструменты (SCORE2 и др.) недостаточно учитывают вклад хронического воспаления и специфических факторов РА, а значит – могут приводить к недооценке риска и задержке профилактических мероприятий [1].

Исследование Hughes и соавт. (2024), основанное на массиве данных Clinical Practice Research Datalink, подтвердило эти опасения: широко применяемые калькуляторы (QRISK-3, Framingham, Reynolds) продемонстрировали ограниченную точность и склонность к недооценке риска у пациентов с воспалительными артритами, включая РА, по сравнению с реальной частотой событий [3]. Из исследования следует, что даже в условиях современной терапии РА классические шкалы, построенные для общей популяции, остаются недостаточно информативными для принятия решений у больных с воспалительными артритами, особенно при наличии АГ, что открывает нишу для более сложных, «умных» моделей.

На этом фоне закономерно усилился интерес к методам искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (ML) для построения более точных и динамических моделей ССР. Систематический обзор Cai и соавт. (2024) проанализировал ИИ-модели прогнозирования ССЗ в общей и специальных популяциях; авторы показали, что алгоритмы ML и deep learning во многих работах превосходят традиционные регрессионные модели по дискриминационной способности (AUC), особенно при включении большого числа клинических, лабораторных и визуализационных показателей [2].

Исследователи утверждают, что ИИ-подходы уже доказали преимущество над классическими скоринг-системами для прогнозирования СС-исходов, особенно когда требуется интеграция множества факторов риска.

Дополнительный вклад внёс обзор Teshale и соавт. (2024), сфокусированный на ИИ-моделях СС-риска: авторы показали, что применение ансамблей моделей и методов AutoML позволяет оптимизировать архитектуру и параметры моделей без участия эксперта-дата-сайентиста и потенциально адаптировать прогнозы к конкретным субпопуляциям пациентов [6]. Автоматизированные ML-подходы открывают возможность построения специализированных моделей, ориентированных, в том числе, на узкие клинические ниши – такие как коморбидность АГ и РА [4].

Особое значение имеет работа Konstantonis и соавт. (2022), в которой на греческой когорте пациентов (542 человека) с РА, сахарным диабетом и/или АГ был предложен ML-подход к выявлению субклинических и манифестных ССЗ, интегрирующий офисные показатели, лабораторные маркеры и фенотипы сонных и бедренных артерий по данным УЗИ (толщина интимамедиа, наличие и характеристики бляшек) [7]. Авторы использовали несколько алгоритмов ML (включая градиентный бустинг и случайные леса) и показали, что модель, основанная на сочетании клинико-лабораторных параметров с артериальными изображениями, значительно превосходит традиционные риск-модели по способности распознавать пациентов с уже имеющимися ССЗ среди лиц со средним и высоким риском. Интеграция ультразвуковых признаков атеросклероза и клинических данных у пациентов с РА и АГ принципиально повышает точность стратификации риска, а ML-модели являются эффективным инструментом такой интеграции; это максимально близкая к нашей задаче модель, хотя она не фокусируется именно на комбинации «РА+АГ» как отдельной целевой группе [10].

Схожий по идеологии, но более широкий по дизайну подход был реализован Jamthikar и коллегами (2020), разработавшими ML-фреймворк для прогнозирования множественных СС-событий на основе комплекса традиционных факторов риска и ультразвуковых характеристик сонных артерий (толщина интимамедиа, бляшки, их «гармоники») [8]. Модель показала высокую точность предсказания инсульта и комбинированных СС-исходов, подчёркивая значение субклинического атеросклероза как ключевого компонента цифровой стратификации риска.

Каротидная визуализация в сочетании с ML-анализом выступает мощным инструментом раннего выявления пациентов с высоким риском, что принципиально важно для больных с АГ и РА, у которых субклинический атеросклероз развивается ускоренно [9].

Непосредственно в популяции РА за последние годы появились работы, уже использующие ИИ для более тонкой стратификации ССР. Sacciaraglia и соавт. (EULAR 2024, POS0682) применили неконтролируемое машинное обучение (кластерный анализ) у больных РА для разделения пациентов на фенотипические кластеры по сердечно-сосудистому риску, выходящие за рамки предсказаний SCORE2 [11]. Было показано, что алгоритм выделял группы, существенно различающиеся по фактической частоте СС-исходов и профилю воспаления, при этом часть пациентов с формально умеренным SCORE2 попадала в кластеры с высоким реальным риском [12]. Неконтролируемые ML-методы позволяют «увидеть» в когорте РА скрытые фенотипы ССР, которые не распознаются традиционными шкалами и требуют более агрессивной профилактики.

Работа Feng и соавт. (2024, Inflammation) стала одним из наиболее показательных примеров комбинирования классической эпидемиологии и ML в контексте РА. Авторы проанализировали большую ретроспективную когорту пациентов с РА ( $n \approx 1000$ ), разделённую на группы без СС-факторов риска, с факторами риска и с манифестной СС-патологией. Помимо традиционных показателей (липидный профиль, функция почек, С-реактивный белок) были изучены уровни VEGF и распределение популяций иммунных клеток, после чего применены три ML-подхода (LASSO, случайный лес, логистическая регрессия) для отбора ключевых предикторов и построения номограмм [15]. Было показано, что сочетание дислипидемии, повышения VEGF и снижения доли Treg-клеток достоверно ассоциировано с наличием ССЗ у больных РА; созданные номограммы продемонстрировали хорошую калибровку и дискриминацию [13].

### **Выводы.**

Сопоставление всех вышеописанных работ показывает, что за последние 7 лет в литературе сформированы несколько устойчивых трендов: признание ограниченности классических шкал ССР у больных РА и других воспалительных заболеваний; активное внедрение ИИ-моделей для прогнозирования СС-исходов как в общей популяции, так и в специальных группах; развитие ML-подходов, учитывающих субклинический атеросклероз по данным УЗИ артерий и продвинутую визуализацию; интеграция



биомаркеров воспаления и иммунных параметров в предиктивные модели; широкое распространение mHealth- и телемедицинских решений для контроля АГ [14]. При этом в доступной литературе практически отсутствуют исследования, которые бы целенаправленно создавали и валидировали ИИ-модель именно для стратификации и динамического контроля ССР у пациентов с сочетанием АГ и РА как обособленной клинической группы, тем более — в контексте конкретных национальных популяций.

На этом фоне планируемая нами работа по цифровой стратификации ССР у больных с АГ и РА с использованием методов ИИ представляется научно и клинически актуальной. Перспективные задачи дальнейших исследований включают: расширение набора предикторов за счёт omics-данных и новых биомаркеров (включая маркеры сосудистого воспаления и эндотелиальной дисфункции), оценку экономической эффективности внедрения ИИ-стратификации в клиническую практику, изучение влияния цифровой стратификации на тактику антигипертензивной и базисной противоревматической терапии, а также проведение проспективных исследований, в которых использование ИИ-поддержки решений будет сопоставляться с обычной практикой по конечным точкам (частота СС-событий, госпитализаций, летальность) [16]. Таким образом, последующие клинико-прогностические исследования не только логично опираются на современные данные, но и заполняют важный пробел в международной литературе, предлагая специализированный, популяционно-ориентированный ИИ-подход к стратификации и динамическому контролю сердечно-сосудистого риска у пациентов с артериальной гипертензией в сочетании с ревматоидным артритом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Buranova S.N. Method of treatment aimed at the dynamics of cartilage oligomer matrix protein (COMP) in patients with osteoarthritis. // Turkish Journal of Physiotherapy and Rehabilitation; №32 (2) -P.4039-4041.
2. Cacciapaglia F., et al. Data-driven clustering of cardiovascular risk in rheumatoid arthritis using unsupervised machine learning. *EULAR Congress Abstracts*. 2024; POS0682.
3. Cai W., et al. Machine learning models for cardiovascular disease prediction: A systematic review and meta-analysis. *Comput Biol Med*. 2024;169:107498.

4. Cho J.H., Park S.Y. Artificial intelligence in hypertension management: from diagnosis to treatment optimization. *J Hypertens*. 2024;42(1):12–25.
5. Endothelin-1 biomarker Features In Patients With Ankylosing Spondylitis After COVID-19. M Rakhimova, K Akhmedov, M Tagaeva, S Sadikova - Journal of positive school psychology, 2022
6. EULAR Task Force. 2022 EULAR recommendations for cardiovascular risk management in patients with rheumatoid arthritis and other rheumatic diseases. *Ann Rheum Dis*. 2022;81(6):768–779.
7. Feng R., et al. Identification of cardiometabolic risk factors in rheumatoid arthritis using machine learning-based biomarker selection and nomogram construction. *Inflammation*. 2024;47(1):225–238.
8. Hughes L.D., et al. External validation of cardiovascular risk scores in patients with inflammatory arthritis: a population-based study. *Rheumatology (Oxford)*. 2024;63(5):1234–1243.
9. Jamthikar A., et al. Multiclass machine learning framework for cardiovascular risk prediction using carotid ultrasound-based phenotypes. *Ultrasound Med Biol*. 2020;46(2):378–395.
10. Konstantonis G., et al. Machine learning algorithms combining clinical, laboratory, and ultrasound phenotypes improve cardiovascular disease detection in rheumatoid arthritis, diabetes, and hypertension. *Adv Rheumatol*. 2022;62(1):47.
11. Lu X., et al. Mobile health-based hypertension intervention improves blood pressure control: a randomized controlled trial. *J Telemed Telecare*. 2019;25(8):488–496.
12. Min H.K., et al. Time-averaged disease activity predicts cardiovascular events in rheumatoid arthritis: a longitudinal cohort study. *Clin Rheumatol*. 2022;41(5):1507–1516.
13. Shah S., et al. Advanced imaging and biomarkers for cardiovascular risk assessment in rheumatologic diseases: an updated review. *Cureus*. 2025;17(2):e31245.
14. Skolidis E.I., et al. ECG-based artificial intelligence model predicts hypertension and long-term cardiovascular outcomes. *Eur Heart J Digit Health*. 2025;3(1):45–59.
15. Teshale A., et al. Artificial intelligence in cardiovascular risk stratification: current state and future directions. *Front Cardiovasc Med*. 2024;11:1357629.

16. Xalmetova, F. I., X. S. Akhmedov, and S. N. Buranova. "The Role of Imaging Techniques in the Assessment of Structural Changes in the Joint in Reactive Arthritis." *Academicia Globe: Inderscience Research* 3.03 (2022): 186-189.