

В.М. Коваленко¹
Р.І. Яцишин²
Ю.В. Білявська¹
Б.В. Доскалюк²

¹ДУ «Національний науковий центр «Інститут кардіології, клінічної та регенеративної медицини імені академіка М.Д. Стражеска» НАМН України
²Івано-Франківський національний медичний університет

Ключові слова: штучний інтелект, ревматологія, машинне навчання, персоналізована медицина.

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У РЕВМАТОЛОГІЇ: СУЧАСНІ ДОСЯГНЕННЯ, ПЕРСПЕКТИВИ ТА ВИКЛИКИ

Штучний інтелект (ШІ) стрімко розвивається, відкриваючи нові можливості для вдосконалення діагностики, прогнозування результатів та персоналізованого лікування пацієнтів із ревматологічними захворюваннями. У цьому огляді літератури висвітлюються ключові досягнення у використанні машинного та глибокого навчання для діагностики, стратифікації пацієнтів і розробки індивідуалізованих терапевтичних стратегій. Особлива увага приділяється прогресу в аналізі молекулярних підтипів системної склеродермії, ідентифікації імунологічних патернів при ювенільному ідіопатичному артриті та створенні моделей прогнозування терапевтичних відповідей у хворих на ревматоїдний артрит. В огляді також висвітлено основні виклики впровадження ШІ в ревматологію, зокрема питання якості даних, прозорості алгоритмів, етичні аспекти та обмеження інфраструктури. Попри ці перешкоди, ШІ має значний потенціал для революційних змін у ревматологічній практиці, зокрема завдяки можливості аналізу великих обсягів даних та підтримки клінічних рішень. У статті підкреслюється важливість міждисциплінарної співпраці для подолання існуючих бар'єрів і забезпечення справедливого та широкого доступу до цих інноваційних технологій. Цей огляд узагальнює сучасний стан досліджень і визначає перспективи майбутнього застосування ШІ в ревматології, спрямованого на підвищення якості медичної допомоги, персоналізацію лікування та оптимізацію результатів для пацієнтів.

Штучний інтелект (ШІ) — це технологія, яка дозволяє комп'ютерам виконувати завдання, що потребують розумових здібностей людини, зокрема аналіз даних, навчання, ухвалення рішень і розпізнавання інформації. Ця інновація стрімко розвивається, трансформуючи численні галузі, включаючи охорону здоров'я [1]. У медичній практиці елементи ШІ, такі як машинне навчання (МН), обробка природної мови та нейронні мережі, демонструють значний потенціал у підвищенні точності діагностики, оптимізації терапевтичних підходів і покращенні результатів менеджменту пацієнтів [2]. Ревматологія як галузь, що охоплює складні та багатофакторні захворювання, є сприятливим середовищем для застосування ШІ. Інтеграція ШІ в ревматологічну практику відкриває перспективи для розв'язання багатьох невирішених проблем у цій сфері.

Ревматичні захворювання часто потребують міждисциплінарного підходу та індивідуалізованих планів лікування через їх гетерогенну природу та різноманітні клінічні прояви. Рання діагностика таких захворювань, як ревматоїдний артрит (РА), системний червоний вовчак і анкілозуючий спондиліт, є критично важливою для покращення довгострокових результатів. Часто традиційні методи діагностики обмежуються суб'єктивною інтерпретацією, затримками в направленні до спеціалістів і перехреснуванням симптомів

між різними станами [3]. ШІ надає можливість подолати ці перешкоди завдяки інструментам, здатним аналізувати великі обсяги даних, визначати приховані закономірності та створювати прогностичні моделі з високою точністю [4].

Окрім діагностики, застосування ШІ в ревматології охоплює оптимізацію лікування та менеджмент пацієнтів у цілому. Алгоритми, що працюють на основі ШІ, можуть аналізувати дані пацієнтів, поєднуючи об'єктивні результати лабораторних досліджень, методів візуалізації із суб'єктивними оцінками, наданими самими пацієнтами, задля розробки індивідуалізованих терапевтичних стратегій. Наприклад, моделі МН вже продемонстрували ефективність у прогнозуванні відповіді на біологічну терапію [5], що дозволяє клініцистам ухвалювати обґрунтовані рішення та мінімізувати підхід «спроб і помилок», який часто супроводжує такі види лікування. Крім того, інструменти на основі ШІ розробляються для моніторингу активності захворювання, оцінки прогнозу та аналізу прогресування хвороби, що сприятиме наданню більш персоналізованої допомоги [6].

Попри весь свій потенціал, інтеграція ШІ в ревматологічну практику супроводжується низкою викликів. Зокрема, критично важливо враховувати етичні аспекти, питання конфіденційності даних і необхідність суво-

рої валідизації для забезпечення безпечного та ефективного впровадження технологій ШІ [7]. Крім того, нерівномірний доступ до інструментів на основі ШІ у різних медичних установах може поглибити існуючий розрив у якості надання ревматологічної допомоги.

Ця стаття має на меті дослідити використання ШІ в ревматологічній практиці, висвітлюючи його потенціал у вдосконаленні діагностики, лікуванні ревматичних хвороб та менеджменту пацієнтів. Аналіз також висвітлює виклики та обмеження впровадження технологій ШІ та описує уявлення про майбутні потенційні напрями досліджень і способи інтеграції технології в клінічну практику. Аналізуючи ці аспекти, наш огляд покликаний надати всебічне розуміння революційної та трансформаційної ролі ШІ в ревматології.

МЕТОДИ

Пошук наукових джерел для огляду літератури проведений 12 січня 2024 р. без жодних часових обмежень для включених статей. Для систематичності пошуку використовували такі пошукові терміни: «штучний інтелект», «машинне навчання», «глибоке навчання», «великі дані», «контрольоване навчання», «неконтрольоване навчання», «навчання з підкріпленням», «комп'ютерна нейронна мережа», «згортова нейронна мережа», «опорно-руховий апарат» та «ревматологія». Літературний пошук проведений в базах даних Medline/PubMed, Scopus, Web of Science та Directory of Open Access Journals (DOAJ). Для забезпечення всебічного охоплення додатковий аналіз проводили шляхом перегляду списків джерел літератури включених досліджень.

Оригінальні наукові статті, оглядові статті та опубліковані тези конференцій, що вивчають взаємозв'язок між ШІ та ревматологією, проаналізовані в рамках цього дослідження. Два автори незалежно провели огляд літератури, забезпечивши узгодженість і релевантність, а будь-які розбіжності перевірені третім автором та узгоджені шляхом консенсусу.

РОЛЬ ШІ В СТРАТИФІКАЦІЇ ПАЦІЄНТІВ ТА ПЕРСОНАЛІЗОВАНИХ ПІДХОДИХ ДО ТЕРАПІЇ

ШІ дедалі частіше використовується в ревматології для стратифікації пацієнтів на окремі кластери на основі клінічних і молекулярних даних, відкриваючи можливості для персоналізованих підходів до лікування. Алгоритми МН особливо ефективні в аналізі великих обсягів складних даних для визначення підгруп пацієнтів із спільними характеристиками, які не завжди можуть бути виявлені традиційними методами.

Так, МН використано у пацієнтів із РА для ідентифікації кластерів супутніх захворювань, що можуть прогнозувати майбутні клінічні результати. У дослідженні, яке використовувало різні алгоритми МН на основі даних великого реєстру РА у США, визначено окремі кластери пацієнтів на основі 24 супутніх захворювань [8]. У подальшому ці кластери оцінювали за їх прогностичною цінністю стосовно активності захворювання та функціонального статусу, що підтвердило потенціал МН у стратифікації пацієнтів та прогнозуванні результатів лікування.

МН також використовували у пацієнтів із системною склеродермією для класифікації за їх молекулярними підтипами. Зокрема, Franks та співавтори розробили МН-класифікатор, який дозволяє точно розподіляти пацієнтів у внутрішні молекулярні підгрупи на основі профілю експресії генів [9]. Такий інноваційний підхід забезпечує глибше розуміння гетерогенності патології і дає змогу персоналізувати терапію залежно від конкретного молекулярного підтипу пацієнта. Аналогічно при вивченні ювенільного ідіопатичного артрити (ЮІА) МН використовували для ідентифікації спільних імунологічних патернів для різних підтипів захворювання. Van Nieuwenhove та співавтори виявили специфічні імунологічні особливості, які можуть бути пов'язані з кількома підтипами ЮІА, що дає змогу глибшого розуміння патогенезу і можливості розробки більш цілеспрямованих терапевтичних стратегій [10].

Зазначені методи стратифікації за допомогою ШІ дозволяють глибше вивчати гетерогенну природу ревматичних захворювань, створюючи підґрунтя для розробки індивідуальних стратегій лікування. Для пацієнтів це означає потенційно ефективніше лікування, зниження ризику побічних ефектів і кращу якість життя. Для клініцистів — можливість ухвалювати більш обґрунтовані рішення, оптимізувати терапевтичний процес та підвищити ефективність медичної допомоги.

РОЛЬ ШІ В ДІАГНОСТИЦІ

МН стало надзвичайно важливим інструментом у діагностиці ревматологічних захворювань, забезпечуючи більш точні, ефективні та обґрунтовані клінічні рішення. Використовуючи алгоритми аналізу великих масивів даних, моделі МН можуть значно прискорювати діагностичний процес, підвищуючи його точність і сприяючи своєчасному виявленню різних ревматологічних станів.

У діагностиці аксіального спондилоартрити (СпА) модель на основі МН, що використовує підхід «random forest», продемонструвала значні успіхи. Redeker та співавтори розробили цю модель, використовуючи дані повсякденної клінічної практики, що дозволило точно диференціювати аксіальний СпА від інших станів [11]. Дослідження підкреслює значний потенціал цього підходу для рутинної ревматологічної допомоги, демонструючи здатність моделі працювати з різноманітними наборами даних і покращувати точність діагностики в реальних клінічних умовах.

У дослідженнях за участю пацієнтів із фіброміалгією (ФМ) — станом, діагностика якого значно ускладнена через суб'єктивність симптомів, методи МН показали високу ефективність. Venerito та Iannone застосували великі мовні моделі для аналізу емоційного стану пацієнтів, що сприяло ранній діагностиці ФМ [12]. У дослідженні взяли участь 40 пацієнтів із ФМ та 40 осіб із хронічним болем без цього діагнозу. Відповіді учасників на запитання про біль і сон були записані, автоматично перекладені англійською мовою та проаналізовані мовною моделлю Mistral-7B-Instruct-v0.2. Аналіз проводився двома методами: перший передбачав спеціальне налаштування моделі на розпізнавання специфічних мовних особливостей пацієнтів із ФМ при описі болю, а другий — без такого налаштування. Це дослі-

дження демонструє потенціал ШІ в ідентифікації мовних патернів у пацієнтів із ФМ та його здатність доповнювати традиційний діагностичний процес за допомогою аналізу вербальних даних.

Крім того, моделі глибокого навчання були успішно використані для діагностики, що ґрунтується на методах візуалізації, при запальних артритих. Schlereth та співавтори розробили модель, здатну автоматично класифікувати ерозії, синовіт та остеїт при магнітно-резонансній томографії (МРТ) кистей у пацієнтів із запальним артритом. Ця модель продемонструвала високу точність, підкреслюючи потенціал глибокого навчання для вдосконалення інтерпретації складних даних методів візуалізації та сприяння ранньому виявленню запальних станів [13].

Застосування МН у діагностиці ревматологічних захворювань означає значний прогрес у галузі, відкриваючи нові шляхи для більш раннього та точного виявлення патології. Інтеграція моделей МН у рутинну клінічну практику дозволяє ревматологам покращувати точність діагностики та забезпечувати більш своєчасні й цілеспрямовані втручання, що в результаті підвищує якість медичної допомоги пацієнтам.

РОЗРОБКА ІНДИВІДУАЛЬНОГО ПЛАНУ ЛІКУВАННЯ

ШІ відіграє важливу роль в ревматології, сприяючи розробці індивідуалізованих алгоритмів лікування та підвищенню якості медичної допомоги завдяки персоналізованим терапевтичним стратегіям. Техніки МН як ключовий компонент ШІ аналізують складні набори даних для прогнозування відповіді пацієнтів на конкретні методи лікування, тим самим оптимізуючи процес ухвалення клінічних рішень.

Наприклад, при РА алгоритми МН застосовуються для прогнозування ефективності терапії інгібіторами фактора некрозу пухлин (анти-TNF). У дослідженні Chen та співавторів було запропоновано платформу прогнозування відповіді на лікарські засоби, яка аналізувала електронні медичні записи 425 пацієнтів із РА [14]. Така двохетапна модель МН продемонструвала підвищену точність у класифікації відповіді пацієнтів на анти-TNF-терапію, що підкреслює потенціал МН у підтримці клінічних рішень та персоналізації лікування на основі інформації з електронних баз даних.

ПРОГНОСТИЧНІ МОДЕЛІ ПЕРЕБІГУ ТА ПРОГРЕСУВАННЯ ЗАХВОРЮВАНЬ

Алгоритми МН аналізують великі обсяги інформації, виявляючи приховані зв'язки та тенденції. У ревматології ці моделі стали важливим засобом для поліпшення точності діагностики та прогнозування перебігу хвороби.

Наприклад, техніки глибокого навчання успішно застосовуються для автоматизації оцінки рентгенограм кистей при РА. Во та співавтори розробили модель, здатну прогнозувати зміну індексу Шарпа на основі рентгенограм кистей [15]. Зазначена модель досягла коефіцієнта кореляції Пірсона 0,925, що наближається до результатів досвідчених радіологів [15]. Такі досягнення підтверджують потенціал ШІ у спрощенні діагностичних процесів, зниженні їх варіабельності

та підвищенні ефективності аналізу зображень у клінічній практиці.

Сучасні методи оцінки остеоартриту (ОА) колінного суглоба часто не дають достатньо інформації для точного прогнозування його прогресування. Для розв'язання цієї проблеми були розроблені моделі глибокого навчання, здатні передбачити прогресування ОА колінного суглоба до повної заміни суглоба протягом 108 міс на основі початкових МРТ-даних [16].

У межах ретроспективного дослідження проєкту *Osteoarthritis Initiative*, в якому проаналізували 353 пари пацієнтів із ОА та контрольних осіб, моделі глибокого навчання продемонстрували вищу точність у прогнозуванні ризику прогресування хвороби порівняно із традиційними методами, що базуються виключно на клінічних показниках. Зокрема, об'єднана модель МРТ і рентгенографії досягла найвищого значення площі під кривою (AUC) — 0,90 (80% чутливості та 85% специфічності), суттєво перевершуючи стандартні підходи ($p < 0,001$) [16].

Отримані результати свідчать про високу точність моделей глибокого навчання, особливо тих, які використовують початкові МРТ-дані, у прогнозуванні необхідності тотального ендопротезування суглоба порівняно з клінічними моделями та моделями на основі рентгенівських знімків. Це підкреслює значний потенціал технологій ШІ для вдосконалення оцінки ризиків та підтримки клінічних рішень у менеджменті пацієнтів із ОА.

В одному з досліджень розроблено модель МН для прогнозування ниркових загострень у пацієнтів із системним червоним вовчаком на основі оцінки рутинних клінічних параметрів, таких як протеїнурія, рівень альбуміну, сечовини та компонент комплементу С3. Ця модель продемонструвала високу точність у прогнозуванні ниркових загострень, що підкреслює цінність цих параметрів як інструменту для лікарів у веденні пацієнтів із цією патологією [17].

В іншому дослідженні використовували техніки МН для оцінки інформації, яку повідомляють пацієнти, показників якості життя та біометричних даних із портативних пристроїв у пацієнтів із системним червоним вовчаком. Розроблені прогностичні моделі змогли ідентифікувати симптоми, які вказують на активність захворювання і можуть сигналізувати про клінічне загострення. Це надає можливість для активного моніторингу та своєчасного клінічного втручання [18].

ВИКЛИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ШІ В РЕВМАТОЛОГІЧНУ ПРАКТИКУ

Попри значний потенціал ШІ у трансформації ревматології, його інтеграція в клінічну практику супроводжується численними викликами, які необхідно подолати для повноцінного впровадження. Ці виклики охоплюють технічні, етичні та практичні аспекти, створюючи бар'єри для широкого та ефективного використання.

Одними з основних технічних проблем є якість та неоднорідність даних. Ревматологічні захворювання мають складну багатофакторну патофізіологію, що потребує інтеграції різноманітних джерел інформації, зокрема клінічної інформації, методів візуаліза-

ції, генетичних даних та звітів, що надаються пацієнтами [19]. Однак дані, зібрані в реальних умовах, часто є неповними, несумісними або нестандартизованими, що може знижувати точність і надійність моделей ШІ. Крім того, обмежена доступність маркованих наборів даних, специфічних для ревматології, ускладнює розробку високоточних алгоритмів із керованим навчанням, що потребує використання інноваційних підходів, таких як напівкероване або некероване навчання [20, 21].

Ще однією важливою проблемою є інтерпретованість моделей ШІ. Багато алгоритмів, особливо ті, що використовують глибоке навчання, працюють як «чорні ящики», надаючи прогнози без чіткого пояснення процесу ухвалення рішень [22]. Така непрозорість може викликати скептицизм серед лікарів, які потребують розуміння логіки висновків ШІ для ухвалення обґрунтованих клінічних рішень. Більша прозорість та пояснюваність моделей ШІ є ключовим для зміцнення довіри та прийняття медичною спільнотою.

Етичні та юридичні аспекти також створюють значні виклики. Використання даних пацієнтів для навчання моделей ШІ викликає занепокоєння щодо конфіденційності, безпеки та добровільної згоди [23, 24]. Дотримання нормативних актів щодо захисту даних, таких як Загальний регламент захисту даних (General Data Protection Regulation — GDPR) у Європі чи Закон про переносимість та підзвітність медичного страхування (Health Insurance Portability and Accountability Act — HIPAA) у США, є необхідним, але водночас ускладнює обмін даними та розробку моделей. Крім того, упередження, властиві навчальним наборам даних, можуть призвести до необ'єктивності у роботі ШІ для різних груп пацієнтів, що може посилити існуючі диспропорції в охороні здоров'я [25]. Для мінімізації таких ризиків необхідно застосовувати методи корекції упереджень, а також розробляти етичні стандарти для створення та впровадження моделей ШІ.

Практичні виклики, зокрема висока вартість і необхідна інфраструктура для впровадження технологій ШІ, також обмежують їх застосування в ревматології. Багато медичних закладів, особливо в умовах обмежених ресурсів, не мають необхідної технічної бази та відповідної експертизи та стикаються з труднощами інтеграції ШІ в рутинну клінічну практику [26]. Окрім цього, іншою перешкодою є необхідність адаптації існуючих електронних медичних записів, навчання персоналу та забезпечення сумісності нових алгоритмів із поточними клінічними процесами. Для подолання цих викликів важливо розробляти більш доступні та масштабовані рішення, які можуть бути ефективно впроваджені навіть у медичних установах із обмеженими ресурсами.

Подолання цих викликів потребує тісної міждисциплінарної співпраці між клініцистами, фахівцями з аналізу даних, спеціалістами з етики та політиками. Важливими кроками є забезпечення прозорості алгоритмів, стандартизації даних та впровадження механізмів для забезпечення рівного доступу до технології ШІ. Лише за цих умов ревматологія зможе повною мірою реалізувати трансформаційний потенціал ШІ, знижуючи су-

путні ризики та забезпечуючи ефективне впровадження інновацій у клінічну практику.

ВИСНОВКИ

Попри значні досягнення, інтеграція ШІ в повсякденну ревматологічну практику залишається викликом. Проблеми якості даних, інтерпретованості моделей та необхідність ретельної валідації є важливими складовими забезпечення надійності та універсальності прогнозів, створених за допомогою ШІ. Водночас постійне вдосконалення технологій ШІ відкриває нові можливості для підвищення точності діагностики, персоналізації та оптимізації підходів до лікування пацієнтів у ревматології.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Rashid A.bin, Kausik M.A.K. (2024) AI revolutionizing industries worldwide: A comprehensive overview of its diverse applications. *Hybrid Advances*, 7: 100277. doi.org/10.1016/J.HYBADV.2024.100277.
2. Alowais S.A., Alghamdi S.S., Alsuehaby N. et al. (2023) Revolutionizing healthcare: the role of artificial intelligence in clinical practice. *BMC Medical Education* 2023 23:1, 23(1): 1–15. doi.org/10.1186/S12909-023-04698-Z.
3. Sørensen J., Hetland M.L. (2015) Diagnostic delay in patients with rheumatoid arthritis, psoriatic arthritis and ankylosing spondylitis: results from the Danish nationwide DANBIO registry. *Annals of the rheumatic diseases*, 74(3): e12. doi.org/10.1136/annrheumdis-2013-204867.
4. Krishnan G., Singh S., Pathania M. et al. (2023) Artificial intelligence in clinical medicine: catalyzing a sustainable global healthcare paradigm. *Frontiers in artificial intelligence*, 6: 1227091. doi.org/10.3389/frai.2023.1227091.
5. Salehi F., Lopera Gonzalez L.I., Bayat S. et al. (2024) Machine Learning Prediction of Treatment Response to Biological Disease-Modifying Antirheumatic Drugs in Rheumatoid Arthritis. *Journal of clinical medicine*, 13(13): 3890. doi.org/10.3390/jcm13133890.
6. Maleki Varnosfaderani S., Forouzanfar M. (2024) The Role of AI in Hospitals and Clinics: Transforming Healthcare in the 21st Century. *Bioengineering (Basel, Switzerland)*, 11(4): 337. doi.org/10.3390/bioengineering11040337.
7. Mennella C., Maniscalco U., de Pietro G., Esposito M. (2024) Ethical and regulatory challenges of AI technologies in healthcare: A narrative review. *Heliyon*, 10(4): e26297. doi.org/10.1016/J.HELİYON.2024.E26297.
8. Solomon D.H., Guan H., Johansson F.D. et al. (2023) Assessing clusters of comorbidities in rheumatoid arthritis: a machine learning approach. *Arthritis Research and Therapy*, 25(1): 1–10. doi.org/10.1186/S13075-023-03191-8/TABLES/4.
9. Franks J.M. et al. (2019) A machine learning classifier for assigning individual patients with systemic sclerosis to intrinsic molecular subsets. *Arthritis Rheumatol.*; 71(10): 1701–10. doi.org/10.1002/art.40898.
10. Van Nieuwenhove E. et al. (2019) Machine learning identifies an immunological pattern associated with multiple juvenile idiopathic arthritis subtypes. *Ann. Rheum. Dis.*; 78(5): 617–28. doi.org/10.1136/annrheumdis-2018-214354.
11. Redeker I., Tsiami S., Eicker J. et al. (2024) Identification of a machine learning-based diagnostic model for axial spondyloarthritis in rheumatological routine care using a random forest approach. *RMD Open*, 10(4). doi.org/10.1136/rmdopen-2024-004702.
12. Venerito V., Iannone F. (2024) Large language model-driven sentiment analysis for facilitating fibromyalgia diagnosis. *RMD Open*, 10(2). doi.org/10.1136/rmdopen-2024-004367.
13. Schlereth M., Mutlu M.Y., Utz J. et al. (2024) Deep learning-based classification of erosion, synovitis and osteitis in hand MRI of patients with inflammatory arthritis. *RMD Open*, 10(2). doi.org/10.1136/rmdopen-2024-004273.
14. Chen S., Gupta N., Galbraith W.B. et al. (2022) Prediction of drug effectiveness in rheumatoid arthritis patients based on machine learning algorithms. *ACM International Conference Proceeding Series*: 147–154. doi.org/10.1145/3574198.3574221.

15. Bo Z., Coates L.C., Papież B.W. (2024) Deep Learning Models to Automate the Scoring of Hand Radiographs for Rheumatoid Arthritis. Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 14860 LNCS: 398–413. doi.org/10.1007/978-3-031-66958-3_29.

16. Rajamohan H.R., Wang T., Leung K. et al. (2023) Prediction of total knee replacement using deep learning analysis of knee MRI. Scientific Reports 2023 13(1): 1–11. doi.org/10.1038/s41598-023-33934-1.

17. Cetreş N., Lindblom J., Da Mutton R. et al. (2024) Machine learning approaches for prediction of renal flares in systemic lupus erythematosus: knowledge-driven models outperformed data-driven models. Lupus Science & Medicine; 11. doi.org/10.1136/lupus-2024-el.116.

18. Jupe E.R., Lushington G.H., Purushothaman M. et al. (2023) Tracking of Systemic Lupus Erythematosus (SLE) Longitudinally Using Biosensor and Patient-Reported Data: A Report on the Fully Decentralized Mobile Study to Measure and Predict Lupus Disease Activity Using Digital Signals—The OASIS Study. BioTech, 12(4): 62. doi.org/10.3390/biotech12040062.

19. Mondillo G., Colosimo S., Perrotta A. et al. (2024) Unveiling Artificial Intelligence's Power: Precision, Personalization, and Progress in Rheumatology. Journal of Clinical Medicine, Vol. 13: 6559. doi.org/10.3390/JCM13216559.

20. Rahmani A.M., Yousefpoor E., Yousefpoor M.S. et al. (2021) Machine Learning (ML) in Medicine: Review, Applications, and Challenges. Mathematics 2021, Vol. 9(22): 2970. doi.org/10.3390/MATH9222970.

21. Islam T., Hafiz M.S., Jim J.R. et al. (2024) A systematic review of deep learning data augmentation in medical imaging: Recent advances and future research directions. Healthcare Analytics, 5: 100340. doi.org/10.1016/J.HEALTH.2024.100340.

22. Hassija V., Chamola V., Mahapatra A. et al. (2024) Interpreting Black-Box Models: A Review on Explainable Artificial Intelligence. Cognitive Computation, 16(1): 45–74. doi.org/10.1007/S12559-023-10179-8/FIGURES/14.

23. Murdoch B. (2021) Privacy and artificial intelligence: challenges for protecting health information in a new era. BMC Medical Ethics, 22(1): 1–5. doi.org/10.1186/S12910-021-00687-3/PEER-REVIEW.

24. Mohan K., Kitsos P., Williamson S.M., Prybutok V. (2024) Balancing Privacy and Progress: A Review of Privacy Challenges, Systemic Oversight, and Patient Perceptions in AI-Driven Healthcare. Applied Sciences 2024, Vol. 14(2): 675. doi.org/10.3390/APP14020675.

25. Ueda D., Kakinuma T., Fujita S. et al. (2023) Fairness of artificial intelligence in healthcare: review and recommendations. Japanese Journal of Radiology, 42(1): 3–15. doi.org/10.1007/S11604-023-01474-3.

26. Ahmed M.I., Spooner B., Isherwood J. et al. (2023) A Systematic Review of the Barriers to the Implementation of Artificial Intelligence in Healthcare. Cureus, 15(10): e46454. doi.org/10.7759/cureus.46454.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN RHEUMATOLOGY: CURRENT ACHIEVEMENTS, PROSPECTS, AND CHALLENGES

V.M. Kovalenko¹, R.I. Yatsyshyn²,
Iu.V. Biliavska¹, B.V. Doskaliuk²

¹State Institution «National Scientific Center «Institute of Cardiology, Clinical and Regenerative Medicine named after Academician M.D. Strazhesko» NAMS of Ukraine

²Ivano-Frankivsk National Medical University

Abstract. Artificial intelligence (AI) is rapidly advancing, opening new opportunities to improve diagnosis, outcome prediction, and personalized treatment for patients with rheumatological diseases. This literature review highlights key advancements in the application of machine learning and deep learning for diagnostics, patient stratification, and the development of individualized therapeutic algorithms. Special attention is given to progress in analyzing molecular subtypes of systemic sclerosis, identifying immunological patterns in juvenile idiopathic arthritis, and developing models for predicting therapeutic responses in rheumatoid arthritis. The review also explores key challenges in the implementation of AI in rheumatology, including issues of data quality, algorithm transparency, ethical considerations, and infrastructure limitations. Despite these obstacles, the use of AI has significant potential to revolutionize rheumatological practice by enabling the analysis of large datasets and support clinical decision-making. The article emphasizes the importance of interdisciplinary collaboration to overcome existing barriers and ensure equitable access to these innovative technologies. This review summarizes the current state of research and outlines future prospects for application of AI in rheumatology, aiming to enhance the quality of medical care, personalize treatments, and optimize outcomes for patients.

Key words: artificial intelligence, rheumatology, machine learning, personalized medicine.

Відомості про авторів

Коваленко Володимир Миколайович — академік, професор, завідувач відділу некоронарних хвороб серця, ревматології та терапії ДУ «Національний науковий центр «Інститут кардіології, клінічної та регенеративної медицини імені академіка М.Д. Стражеска» НАМН України, м. Київ. ORCID ID: 0000-0003-3802-9207

Яцишин Роман Іванович — доктор медичних наук, професор кафедри внутрішньої медицини № 1, клінічної імунології та алергології імені академіка Є.М. Нейка, Івано-Франківський національний медичний університет. ORCID ID: 0000-0002-6221-9345

Білявська Юлія Вікторівна — кандидатка медичних наук, старша наукова співробітниця відділу некоронарних хвороб серця, ревматології та терапії ДУ «Національний науковий центр «Інститут кардіології, клінічної та регенеративної медицини імені академіка М.Д. Стражеска» НАМН України, м. Київ. ORCID ID: 0009-0005-0072-1814

Доскалюк Богдана Вікторівна — асистентка кафедри патофізіології, Івано-Франківський національний медичний університет, PhD. ORCID ID: 0000-0003-1650-8928

Надійшла до редакції/Received: 21.03.2025

Прийнято до друку/Accepted: 28.03.2025