

ТРАНСФОРМАЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ МЕДИЧНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ГАЛУЗІ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я ТА ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ: ТЕХНОЛОГІЧНІ СКЛАДОВІ

К. О. Чалий, І. П. Кривенко

Національний медичний університет імені О. О. Богомольця

Стаття присвячена комплексному аналізу сучасних технологій медичного штучного інтелекту (ШІ) та оцінюванні його трансформаційного потенціалу для системи охорони здоров'я та професійної освіти. Розглянуто ключові поняття й концепції, що створюють базу для розуміння ролі медичного ШІ в клінічній практиці. Обґрунтовано, що медичний ШІ є комплексом технологій, спрямованих на розв'язання актуальних медичних завдань, таких як діагностика, лікування, реабілітація та моніторинг показників здоров'я пацієнтів.

Аргументовано, що базовими технологічними складовими медичного ШІ є алгоритми машинного та глибокого навчання, великі мультимодальні моделі, обробка природної мови, комп'ютерний зір для розпізнання медичних зображень, експертні системи та інтелектуальна робототехніка. Зазначено, що ці технології можуть забезпечувати комплексний аналіз різноманітних медичних даних, таких як медичні зображення, електронні медичні записи, геномні дані, дані носимих пристроїв та інтернету медичних речей для прийняття клінічних рішень, заснованих на найкращих доступних доказах. Наголошено, що завдяки здатності аналізувати великі обсяги даних, виявляти приховані закономірності та генерувати прогнози, медичний ШІ має потенціал удосконалити медичну допомогу, зробивши її точнішою, персоналізованою та більш ефективною.

Розглянуто основи машинного та глибокого навчання з детальною характеристикою їхніх базових алгоритмів. Пояснюються концепції генеративного ШІ та великих мультимодальних моделей. Встановлено, що медичний ШІ створює широкі можливості для інтеграції з інноваційними технологіями, такими як носимі пристрої та інтернет медичних речей.

Особлива увага приділяється формуванню у лікарів компетентності для роботи з медичним ШІ, оскільки недостатнє розуміння основних концепцій ШІ та відсутність практичних навиків є ключовими перешкодами для його ефективної інтеграції у клінічну практику. Проведений аналіз сприяє не лише глибшому розумінню потенціалу медичного ШІ, але й визначає перспективи його впровадження в охорону здоров'я та професійну освіту, закладаючи основу для подальших досліджень.

Ключові слова: медичний штучний інтелект, машинне та глибоке навчання, великі мультимодальні моделі, обробка природної мови, комп'ютерний зір, експертні системи, інтелектуальна робототехніка.

TRANSFORMATIONAL POTENTIAL OF MEDICAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR HEALTHCARE AND PROFESSIONAL EDUCATION: TECHNOLOGICAL COMPONENTS

K. O. Chalyy, I. P. Kryvenko

Bogomolets National Medical University

Background. Artificial intelligence (AI) is rapidly becoming a fundamental component of modern medicine, unlocking new opportunities for the diagnosis and treatment of patients. AI encompasses a broad range of methods, algorithms, and technologies aimed at creating computer systems capable of performing tasks traditionally requiring human intelligence. Medical AI, as a specialized subfield of AI, focuses on the application of AI technologies in healthcare. By analyzing large volumes of diverse data, uncovering hidden patterns, and generating accurate predictions, medical AI has the potential to fundamentally transform the healthcare paradigm, making it more precise, personalized, and efficient.

Materials and Methods. The research results were systematized using databases of scientific periodicals such as PubMed, Scopus, Web of Science, EMBASE, ERIC, IEEE Xplore, Semantic Scholar, ScienceDirect, and others. At various stages of the study, methods of bibliographic search, information structuring, and systematic analysis were employed.

Results. It is argued that the foundational technological components of medical artificial intelligence include machine learning (ML) and deep learning (DL) algorithms, large multimodal models (LMM), natural language processing (NLP), computer vision (CV), expert systems, and intelligent robotics. These technologies enable the comprehensive analysis of diverse medical data, such as medical images, electronic health records (EHR), data from wearable devices and the Internet of Medical Things (IoMT), as well as genomic and proteomic information, to support clinical decision-making while incorporating evidence-based medical guidelines. The article thoroughly explores the foundations of ML and DL, providing a detailed description of their algorithms. It explains the concepts of generative AI and large multimodal models (LMM).

Conclusions. An essential task is to develop healthcare professionals' competencies in utilizing medical AI, as a lack of understanding of its fundamental concepts and insufficient practical skills complicate its integration into clinical practice. The comprehensive analysis of modern medical AI technologies presented in this article not only enhances understanding of its potential but also outlines pathways for its implementation in clinical practice and professional education, laying the groundwork for further research.

Keywords: medical artificial intelligence, machine learning, deep learning, large multimodal models, natural language processing, computer vision, expert systems, intelligent robotics.

Вступ. Штучний інтелект (ШІ) стрімко перетворюється на фундаментальну складову сучасної медицини, відкриваючи нові можливості для діагностики та лікування пацієнтів. ШІ являється широким терміном, що охоплює методи, алгоритми та технології, спрямовані на створення комп'ютерних систем, здатних виконувати завдання, які зазвичай вимагають людського інтелекту. До таких завдань належать розпізнавання образів, обробка природної мови (NLP), прийняття рішень та навчання з досвіду. Медичний ШІ – підгалузь ШІ, що спеціалізується на застосуванні технологій ШІ у сфері охорони здоров'я. Він адаптує загальні принципи ШІ для вирішення конкретних завдань у медицині, таких як діагностика, лікування, реабілітація та моніторинг показників здоров'я пацієнтів.

Одним із ключових напрямів розвитку медичного ШІ являється підтримка прийняття клінічних рішень, де алгоритми можуть аналізувати клінічні дані, медичні зображення, генетичну інформацію та інші джерела даних, допомагаючи лікарям виявляти складні патологічні процеси, прогнозувати результати лікування й обирати оптимальні терапевтичні стратегії. ШІ у медицині та медичний ШІ є взаємопов'язаними, але не ідентичними поняттями. Обидва концепти охоплюють використання ШІ у контексті охорони здоров'я, але мають різні акценти. Медичний ШІ зосереджений на розробленні та впровадженні алгоритмів, що інтегруються в клінічну практику, забезпечуючи рішення для конкретних медичних завдань, таких як діагностика, лікування, реабілітація та моніторинг показників здоров'я пацієнтів. До джерел даних медичного ШІ належать медичні зображення, електронні медичні записи (EHR), дані носимих пристроїв та інтернету медичних речей (IoMT), геномні та протеомні дані, клінічні дослідження та керівництва з доказової медицини. Унікальними аспектами медичного ШІ є клінічна орієнтованість, високий рівень відповідальності, реалізація в режимі реального часу, етична та правова специфіка, інтеграція з медичними інформаційними системами (MIS), системами підтримки прийняття клінічних рішень (СППКР) та платформами телемедицини. Це вимагає сумісності та адаптації до складної інфраструктури, а також відповідності суворим нормативним вимогам і стандартам.

Завдяки здатності аналізувати великі обсяги різномірних даних, виявляти приховані закономірності та генерувати прогнози, медичний ШІ має потенціал істотно змінити парадигму надання медичної допомоги, зробивши її точнішою, персоналізованою та більш ефективною.

У сучасній медицині спостерігається стрімкий прогрес у застосуванні ШІ, що підтверджується численними науковими дослідженнями. Огляд літератури за 2023–2024 роки демонструє, що ШІ активно впроваджується у ключові сфери охорони здоров'я, зокрема: діагностику та прогнозування [1, 2], віртуальний догляд і телемедицину [3], моніторинг і управління масивами даних пацієнтів [4], підвищення адміністративної ефективності [5], персоналізовану медицину [6] та розроблення лікарських засобів [7].

Особливу увагу в дослідженнях приділено покращенню раннього виявлення захворювань, зокрема онкологічних, та точності діагностики за допомогою ШІ [1]. Алгоритми ШІ дозволяють ефективно аналізувати медичні зображення та клінічні дані [2], що, зокрема, обґрунтовується у випадках COVID-19 та інших інфекційних хвороб. У галузі віртуального догляду та телемедицини ШІ відкриває нові можливості, забезпечуючи доступність медичних послуг у віддалених регіонах. Автоматизовані системи консультування та моніторингу зменшують потребу в особистих візитах пацієнтів до лікарів [3], що стало особливо актуальним у період пандемій.

Інструменти ШІ значно полегшують моніторинг стану пацієнтів і оптимізацію робочих процесів у закладах охорони здоров'я. Вони забезпечують підтримку прийняття клінічних рішень у ситуаціях високого навантаження на систему охорони здоров'я, сприяючи зниженню ризику медичних помилок і підвищенню ефективності лікування [4]. Ще однією важливою сферою застосування є зменшення адміністративного навантаження на медичних працівників. Завдяки автоматизації рутинних завдань [5], таких як ведення електронних медичних записів, ШІ дозволяє лікарям і медсестрам зосередитися на догляді за пацієнтами.

У персоналізованій медицині ШІ аналізує великі обсяги даних пацієнтів для адаптації лікувальних схем під індивідуальні потреби. Це дозволяє підвищити ефективність терапії,

покращити результати лікування та мінімізувати побічні ефекти [6]. У дослідженні [8] обґрунтовано, що синергія ШІ та цифрової патології стає ключовим інструментом підвищення точності діагностики, прогнозування та реалізації концепції персоналізованої медицини. Сучасні розробки в області машинного навчання (з акцентом на глибоке навчання) можуть дозволити в майбутньому здійснювати процес персоналізованої діагностики ранніх порушень метаболізму в умовах клініки [9]. Крім того, ШІ значно прискорює процеси винаходу нових лікарських засобів [7], роблячи їх більш рентабельними. Завдяки моделюванню хімічних процесів і прогнозуванню ефективності препаратів, розробка ліків стає швидшою та менш витратною.

Низка досліджень присвячено безпосередньо медичному ШІ. Так, у дослідженні [10] автори вивчають застосування медичного ШІ в різних сферах, включаючи машинне (ML) і глибоке навчання (DL), інтелектуальну робототехніку, розпізнавання зображень та експертні системи, що значно трансформували традиційну медичну практику. В дослідженні [11] обґрунтовується, що застосування медичного ШІ може підвищити ефективність діагностики та лікування, зменшити витрати, покращити якість медичного обслуговування та забезпечити більш гуманний досвід для пацієнтів і медичних працівників.

У роботі [12] вивчається дослідницька структура того, як великі мовні моделі (LLM) можуть бути застосовані у медичному ШІ для підтримки глобальних цілей покращення здоров'я та добробуту. Авторі окреслюють важливості LLM для кожного з етапів: профілактика, діагностика, лікування та менеджмент пацієнтів на етапі реабілітації. Дослідницька рамка для LLM у медичному ШІ, що вивчається у дослідженні, охоплює такі аспекти, як: мультимодальність (використання тексту, аудіо, зображень та інших сигналів), мульти-модельність (паралельне або послідовне використання кількох моделей), мультикультурність (урахування культурних особливостей, зокрема, мови, традицій), мульти-відповідальність (дотримання принципів справедливості, прозорості, приватності та безпеки).

Автори дослідження [13] зазначають, що революційні фундаційні моделі та LLM суттєво змінили сферу медичного ШІ. Наводиться

класифікація моделей медичного ШІ, що охоплює доменні моделі захворювань, які розробляються для аналізу конкретних патологій; універсальні моделі, що охоплюють широкий спектр медичних застосувань; мультимодальні моделі, які інтегрують дані різних типів (текст, зображення) для комплексного аналізу захворювань. Підкреслено необхідність чітких регуляторних стандартів використання медичних моделей ШІ.

Опис розроблення, оцінювання валідності та надійності інструменту MAIRS-MS для оцінки готовності студентів-медиків до використання медичного ШІ представлено у роботі [14]. Під поняттям готовності до медичного ШІ розуміється стан готовності постачальника медичних послуг у знаннях, навиках і ставленні до використання програм охорони здоров'я з підтримкою ШІ під час надання послуг із профілактики, діагностики, лікування та реабілітації у поєднанні з власними професійними знаннями. Запропонований авторами інструмент готовності використовувати медичний ШІ охоплює такі компоненти: знання основних концепцій медичного ШІ, уміння використовувати технології медичного ШІ в клінічній практиці, розуміння можливостей, обмежень і перспектив медичного ШІ, дотримання етичних і правових норм при використанні медичного ШІ.

Окремий клас досліджень присвячений СППКР, інтегрованих із медичним ШІ [15, 16]. Показано, що СППКР можуть застосовуватися на різних етапах медичного обслуговування, включаючи скринінг, діагностику, планування лікування та моніторинг пацієнта, що робить її важливим інструментом сучасної цифрової медицини [17]. Наприклад, у США та Великій Британії СППКР інтегруються з базами даних, такими як UpToDate, Eprocrates або BMJ Best Practice, для швидкого отримання доказових рекомендацій.

Латентний опір ширшому впровадженню медичного ШІ значною мірою обумовлений сприйняттям ШІ як «чорної скриньки» та перебільшенням його ролі й можливостей, з одного боку, а з іншого – побоюваннями про втрати контролю над клінічними рішеннями, етичних дилем, ризику помилок і невизначеності в питаннях відповідальності, а також недостатнім рівнем довіри до цієї інноваційної та мало апробованої технології з боку медичних спеціалістів і пацієнтів. Дослідження показують, що підвищення розуміння

процесів ШІ може підвищити готовність та бажання його використовувати в охороні здоров'я [18]. Етичні та правові проблеми також є значними перешкодами для впровадження медичного ШІ. В дослідженні [19] підкреслено необхідність етичних рекомендацій і надійної нормативної бази для забезпечення безпечного та ефективного використання медичного ШІ в охороні здоров'я. Акцентується можливість впливу культурних упереджень на дизайн медичних систем ШІ, що потенційно може знижувати якість надання медичних послуг для деяких груп пацієнтів [20]. Майбутнє медичного ШІ повинно передбачати усунення методологічних недоліків і етичних проблем, одночасно сприяючи співпраці між розробниками ШІ, клініцистами та спеціалістами з етики [21, 22].

З метою формування політики ШІ, Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) у 2024 р. оприлюднено документ «Ethics and Governance of Artificial Intelligence for Health: Guidance on Large Multi-Modal Models», що надає рекомендації стосовно етичного використання та управління великими мультимодальними моделями (LMM) у сфері охорони здоров'я [23]. Серед потенційних застосувань LMM у цьому керівництві виокремлюють такі складові, як (1) діагностика та клінічна практика лікаря, (2) автоматизація рутинних адміністративних завдань, (3) сервіси для пацієнтів, (4) наукові дослідження та розроблення лікарських засобів (ЛЗ), (5) медична освіта.

Важливим виявилось дослідження [24], в якому акцентується використання ШІ на основі принципів самоконтролю та перехресного контролю рішень, що приймаються в біології та медицині. Автори розглядають виклики та обмеження, пов'язані з інтеграцією ШІ в медичну практику, включаючи етичні та фінансові питання, наголошуючи на необхідності збалансованого підходу, що поєднує людський досвід із можливостями штучного інтелекту.

Незважаючи на значні досягнення, широкомасштабне впровадження медичного ШІ в охороні здоров'я виникає низка викликів. Серед них – недостатнє розуміння роботи ШІ з боку медичних працівників, що ускладнює інтеграцію ШІ в практику. Отже, важливою стає підготовка лікарів до співпраці з інтелектуальними системами, що передбачає розвиток нових

цифрових компетентностей для використання медичного ШІ у професійній діяльності. У Рамці цифрової компетентності (ЦК) працівника охорони здоров'я, що була презентована у лютому 2024 р. МОЗ України, система знань і вмінь стосовно використання ШІ, представлена в компоненті С4.К2. «Використання інтелектуальних систем підтримки прийняття клінічних рішень» [25]. Аналіз сучасних наукових джерел, засвідчує, що існує нагальна потреба в модернізації навчальних програм, спрямованих на формування цифрових компетентностей майбутніх лікарів, зокрема стосовно інтерпретації результатів роботи ШІ та інтеграції цих рішень у клінічний процес.

Мета дослідження: здійснити комплексний аналіз сучасних технологій медичного ШІ, оцінити їхній потенціал для трансформації системи охорони здоров'я, охарактеризувати ключові аспекти й перспективи їх інтеграції у клінічну практику. Дослідження зосереджено на обґрунтуванні загальних понять і концепцій, що формують базу для розуміння медичного ШІ, яка забезпечує вирішення конкретних завдань в охороні здоров'я: діагностика, лікування, реабілітація та моніторинг показників здоров'я пацієнтів. Приділяється увага освітнім аспектам інтеграції медичного ШІ в навчальний процес, а також перспективам для подальших досліджень.

Матеріал і методи дослідження. Результати дослідження систематизовано з використанням таких баз наукових періодичних видань: PubMed, Scopus, Web of Science, EMBASE, ERIC, IEEE Xplore, Semantic Scholar, ScienceDirect тощо. На різних етапах дослідження використовувалися методи бібліографічного пошуку, структурування інформації та системного аналізу.

Результати та їх обговорення. Медичний ШІ – комплекс технологій, спрямованих на автоматизацію та оптимізацію процесів діагностики, лікування, реабілітації і моніторингу показників здоров'я пацієнтів. Під поняттям **медичний ШІ** розуміють сукупність алгоритмів, моделей і технологій, що використовують машинне навчання (ML), глибоке навчання (DL), обробку природної мови (NLP), комп'ютерний зір (CV) та інші методи ШІ для аналізу медичних даних і автоматизації завдань, пов'язаних із діагностикою, лікуванням, реабілітацією та моніторингом показників здоров'я пацієнтів. Основу медичного ШІ складають методи

ML, DL та обробки великих даних, що дозволяють алгоритмам аналізувати різноманітні медичні дані такі, як зображення, геномні дані, електронні медичні записи тощо для підтримки клінічних рішень. Без базового розуміння технологій, що лежать в основі медичних ШІ-рішень, медичні працівники можуть неправильно застосовувати ці інструменти, що може призводити до некоректних клінічних рішень. Знання про те, як працюють алгоритми машинного навчання чи глибокого навчання, дозволяє лікарям краще оцінювати їхні можливості та обмеження. Тому, в контексті визначення пріоритетних базових теоретичних відомостей для наповнення спеціалізованих навчальних курсів для формування відповідних професійних компетентностей майбутніх лікарів, варто розглянути технологічні компоненти медичного ШІ [26].

Машинне навчання (ML) – підгалузь ШІ, що передбачає створення алгоритмів, здатних автоматично навчатися на основі даних і приймати рішення без явного програмування. В медичному ШІ ML використовується для аналізу медичних зображень, прогнозування захворювань, управління даними пацієнтів, розробленні індивідуалізованих терапевтичних підходів лікування тощо. ML дозволяє обробляти великі обсяги даних із різних джерел, виявляти приховані закономірності, які складно або неможливо помітити людині, покращувати точність діагностики та ефективність лікування. Алгоритми ML поділяються на три основні типи залежно від типу даних і завдань:

- **контрольоване навчання (supervised learning)** – алгоритми, що навчаються на позначених даних із відомими вхідними та вихідними значеннями. *Мета контрольованого навчання* – навчити систему передбачати мітки для нових, не бачених раніше прикладів. Це означає, що вхідні дані вже були класифіковані або марковані людиною, і алгоритм учить роботи прогнози на основі цих маркованих даних. Одне з найпоширеніших застосувань контрольованого навчання – класифікація. При класифікації алгоритм навчається передбачати, до якої категорії належить точка вхідних даних. *Приклади алгоритмів контрольованого навчання:* лінійна регресія, логістична регресія, дерева рішень, опорні вектори, наївний класифікатор Баєса, K-найближчих сусідів тощо;

- **неконтрольоване навчання (unsupervised learning)** – алгоритми, що працюють із непозначеними даними та знаходять приховані закономірності. Такі алгоритми вчать самостійно виявляти закономірності та структури у даних. *Приклади алгоритмів неконтрольованого навчання:* кластеризація (k-середніх, ієрархічна), зменшення розмірності (метод основних компонент, автокодувальники);

- **навчання з підкріпленням (reinforcement learning)** – алгоритми, що навчаються шляхом взаємодії із середовищем для досягнення оптимального результату. *Приклад застосування:* чат-боти, які навчаються від діалогу до діалогу.

Розуміння характеристик алгоритмів машинного навчання є ключовим для ефективного використання медичного ШІ, оскільки це дозволяє потенційним користувачам обирати оптимальні моделі для вирішення конкретних завдань, оцінювати їх точність і виявляти потенційні упередження. Такі знання забезпечують безпеку пацієнтів, підтримку інновацій у медицині та ефективну міждисциплінарну співпрацю, що сприятиме коректній інтеграції ШІ-рішень у клінічну практику та підвищенню якості медичних послуг. Розглянемо характеристику основних алгоритмів ML та їх роль у медичному ШІ (табл. 1).

Глибоке навчання (DL) – підгалузь ML, що використовує багатoshарові нейронні мережі для аналізу складних даних. DL навчається приймати рішення на великих обсягах даних, розпізнає і класифікує явища, виявляє закономірності та взаємозв'язки, оцінює можливості, прогнози і, як наслідок, генерує рішення. Принципи роботи DL [26]:

- алгоритм DL отримує вхідні дані, наприклад, зображення або текст;

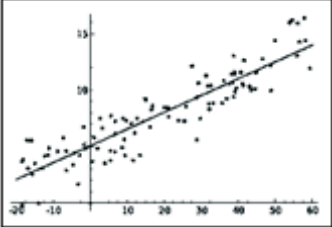
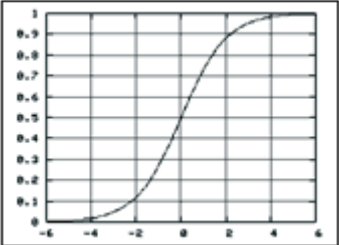
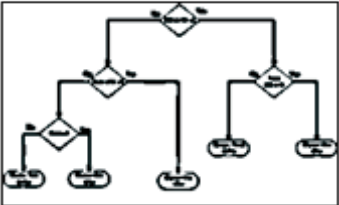
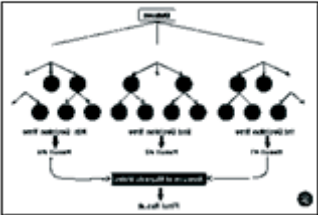
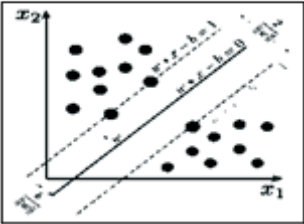
- дані проходять через послідовність шарів нейронів. Кожен шар витягує певні характеристики з даних, починаючи з простих (наприклад, краю на зображенні) і переходячи до складніших (наприклад, форми об'єктів);

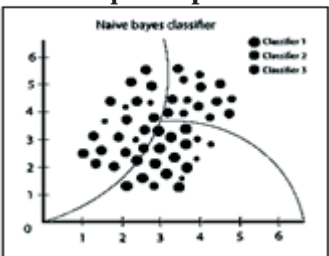
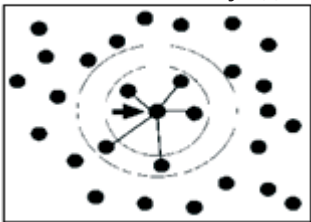
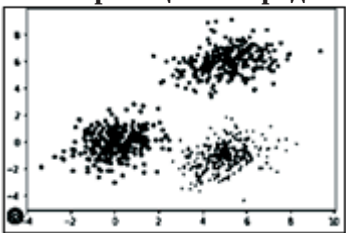
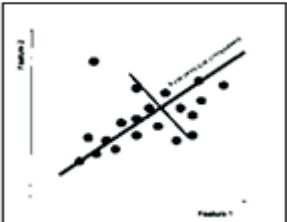
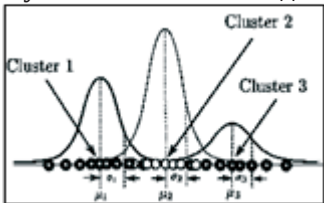
- під час навчання нейронна мережа виявляє свої параметри (ваги та зміщення нейронів), щоб мінімізувати різницю між своїм вихідним та бажаним результатом;

- після обробки даних мережа видає результат, наприклад, класифікацію об'єкта на зображенні.

Таблиця 1

Характеристика основних алгоритмів ML та їх роль у медичному ІІІ

Алгоритм ML	Опис	Деякі приклади застосування
1	2	3
1. Алгоритми контрольованого навчання:		
Лінійна регресія 	Прогнозує залежність між змінними. Мета – знаходження лінійної функції, що найкраще описує зв’язок між змінними.	Прогнозування показників, таких як рівень глюкози у крові, оцінювання впливу ЛЗ на показники здоров’я.
Логістична регресія 	Використовується для завдань класифікації (два або більше класів). Логічна регресія працює, позначаючи точку даних 1 або 0. Якщо сприйняте значення точки даних становить 0,49 або менше, воно класифікується як 0, а якщо значення 0,5 або вище, класифікується як 1.	Виявлення наявності чи відсутності певного захворювання, застосовуються в СППКР для аналізу симптомів і визначення ймовірного діагнозу на основі його індивідуальних характеристик.
Дерева рішень 	Будують послідовність рішень на основі умов. Використовується для прийняття рішень або класифікації, складається з вузлів (де задаються питання) та гілок (що ведуть до наступних вузлів або до результату).	Прогнозування ускладнень на основі анамнезу пацієнта, визначення найкращого методу лікування пацієнта, враховуючи його індивідуальні особливості та стадію захворювання.
Випадковий ліс 	Комбінація багатьох дерев рішень для покращення точності.	Оцінювання ризику захворювань на основі історії пацієнта, лабораторних аналізів і демографічних даних.
Опорних векторів (SVM) 	Визначає оптимальну межу між класами в багатовимірному просторі. Точки даних групуються в кластери за допомогою ліній, що відокремлюють класи один від одного. Чим більша відстань, тим упевненіший класифікатор у тому, що точка належить до одного класу, а не до іншого.	Класифікація зображень для діагностики пухлин, застосовуються в СППКР для аналізу симптомів і діагнозів.

1	2	3
Класифікатор Байєса 	Заснований на теоремі Байєса та розміщує точки даних у класи на основі їх обчисленої ймовірності. При реалізації наївного класифікатора Байєса передбачається, що всі предиктори мають однаковий вплив на результат класу.	Оцінка ймовірності успішного лікування або виникнення ускладнень на основі даних пацієнта та обраної терапії, діагностика захворювань.
К-найближчих сусідів 	Для нового об'єкта алгоритм обчислює відстань до всіх інших об'єктів у навчальному наборі даних. Після цього обираються К об'єктів, що знаходяться найближче до нового об'єкта. Новий об'єкт отримує клас, що є найбільш розширеним серед його К найближчих сусідів.	Діагностика захворювань.
2. Неконтрольоване навчання		
Кластеризація К-середніх 	Розподіляє дані на групи за схожістю між об'єктами. Аналізує характеристики, знайдені в точках даних, і розрізняє в них шаблони, що роблять точки даних більш схожими одна на одну. Це досягається шляхом розміщення можливих центрів кластера на графіку даних і зміни положення центроїда, доки не буде знайдено положення, що мінімізує відстань між центроїдом і точками, які належать до класу цього центроїда.	Групування пацієнтів для аналізу спільних факторів ризику.
Алгоритм основних компонентів 	Зменшує велику кількість функцій/змінних до меншого простору/меншої кількості функцій. Основні компоненти точок даних обираються для збереження, тоді як інші функції стискаються до меншого представлення.	Візуалізація генних даних, аналіз медичних зображень.
Гаусівські змішані моделі 	Використовують для моделювання ймовірності розподілу даних.	Виявлення аномалій у фізіологічних показниках.

У медичному ШІ DL використовується для аналізу складних і різномірних медичних даних, таких як зображення, текстові записи, сигнали та геномні дані. Основна перевага DL полягає в його здатності автоматично знаходити закономірності

та взаємозв'язки в даних, що можуть бути недоступними для традиційних методів аналізу. Розглянемо класифікацію алгоритмів DL у медичному ШІ (табл. 2).

Таблиця 2

Характеристика основних алгоритмів DL та їх роль у медичному ШІ

Тип алгоритму	Опис	Деякі приклади застосування
Згорткові нейронні мережі (CNN)	Алгоритми, що спеціалізу-ються на аналізі зображень, виявленні просторових закономірностей. Працюють на основі операції згортання, яка дозволяє виділяти ключові особливості зображень (форми, текстури, контури). <i>Перевага:</i> висока ефективність у роботі з медичними зображеннями.	Аналіз рентгену, МРТ, КТ, зображень для діагностики онкології (наприклад, система Google DeepMind), виявлення патологій на рентгенограмі грудної клітки (алгоритми CheXNet), аналіз біопсійних зображень, таких як система PathAI, що допомагає ідентифікувати ракові клітини.
Рекурентні нейронні мережі (RNN)	Алгоритми для оброблення послідовностей даних із урахуванням їхнього контексту. RNN обробляють послідовності даних, враховуючи порядок і часові зв'язки. <i>Перевага:</i> обробляють часові залежності.	Аналіз часових рядів, наприклад, прогнозування аритмій на основі ЕКГ. Моніторинг пацієнтів у відділеннях інтенсивної терапії (системи прогнозування погіршення стану, розвитку захворювань у реальному часі).
Довготривала пам'ять (LSTM)	Розширення RNN, здатне зберігати довгострокові залежності між даними.	Прогнозування динаміки стану пацієнта в реанімації.
Трансформери	Алгоритми, що обробляють послідовності з одночасним урахуванням усіх елементів. <i>Перевага:</i> універсальність, ефективність в обробленні тексту й послідовностей.	Обробка природної мови (NLP) для аналізу електронних медичних записів. GPT-4 для автоматизованого аналізу медичних записів. BERT для класифікації текстових даних, таких як діагнози чи симптоми пацієнтів. Автоматизація медичних записів, побудова знань із клінічних текстів.
Автокодувальники	Мережі для вивчення зменшеного представлення даних або створення нових даних.	Стиснення медичних зображень або виявлення аномалій у даних.
Генеративно-змагальні мережі (GANs)	Алгоритми для створення реалістичних даних, що складаються з генератора та дискримінатора, які навчаються змагатися між собою. <i>Перевага:</i> створюють високоякісні синтетичні дані.	Генерація синтетичних медичних зображень для навчання моделей ШІ, збільшення обсягу даних для рідкісних захворювань.

Генеративний ШІ – це підгалузь ШІ, що фокусується на створенні нових даних, які мають схожість із вихідними, на яких алгоритм навчався. На відміну від інших методів ШІ, що аналізують або класифікують дані, генеративний ШІ генерує нові зображення, текст, звуки або навіть відео, зберігаючи структуру та стиль вихідних даних. Основою генеративного ШІ є глибокі нейронні мережі. Завдяки їм, ШІ здатний навчатися на великих масивах даних і створювати нові, унікальні результати, що відповідають заданим параметрам. Серед прикладів генеративного ШІ можемо виокремити: (а) мовні моделі (наприклад, GPT-4) – здатні генерувати текст, відповідати на запитання, перекладати мови, писати код та виконувати інші завдання, пов'язані з обробкою природної мови; (б) моделі генерації зображення – створюють зображення за текстовим описом або на основі іншого зображення; (в) моделі генерації музики – створюють музичні композиції різних жанрів і стилів [26].

Генеративні мовні моделі (Generative Language Models, GLM) – тип ШІ, що спеціалізується на розумінні та створенні тексту, подібного до людської мови. Вони навчаються на величезних обсягах текстових даних, щоб зрозуміти структуру, граматику, семантику та стилістику мови. GLM використовує складні алгоритми та нейронні мережі для аналізу та оброблення тексту. Цей процес дозволяє їм генерувати зв'язковий та осмислений текст на різні теми.

Приклади GLM:

- GPT (Generative Pre-trained Transformer) – сімейство моделей від OpenAI, що включає GPT-3, GPT-3.5 та GPT-4;
- LaMDA (Language Model for Dialogue Applications) – модель від Google, спеціально розроблена для створення діалогів;
- BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) – модель від Google, що використовується для розуміння контексту слів у реченні.

Великі мультимодальні моделі (Large multi-modal models, LMM) – особливий клас моделей генеративного ШІ, які здатні працювати одночасно з різними типами даних (модальністю) для досягнення кращого розуміння та інтерпретації інформації. Наприклад, одночасно можуть аналізувати текст і зображення, що відкриває

нові можливості для розуміння та генерації контенту. Одним із найбільш відомих прикладів великих мультимодальних моделей є GPT-4, розроблений OpenAI, що може працювати з текстом і зображеннями. Мовні моделі ШІ становлять важливу частину екосистеми медичного ШІ, забезпечуючи автоматизацію, точність і доступ до знань. Розглянемо характеристику кількох ключових LMM (табл. 3).

Обробка природної мови (Natural Language Processing, NLP) є галуззю ШІ, що спрямована на аналіз, розуміння, інтерпретацію та генерування людської мови. У контексті медичного ШІ, NLP використовується для роботи з текстовими медичними даними, такими як електронні медичні записи, протоколи лікування, дослідницькі статті, а також для створення автоматизованих звітів, відповідей на запитання, підтримки клінічних рішень та пошуку доказових рекомендацій. NLP забезпечує оброблення, розуміння та аналіз текстових даних. Генеративний ШІ використовує ці методи для створення нового тексту, зберігаючи логіку, граматику та семантичний зміст. Перспективним напрямом NLP являється розроблення голосових чат-ботів як віртуальних асистентів лікаря, що можуть бути інтегровані в медичні інформаційні системи [27, 28]. Віртуальні асистенти з підтримкою NLP здатні виконувати функції первинного консультанта, збираючи інформацію про симптоми пацієнта на етапі планування візиту до лікаря.

Комп'ютерний зір (Computer Vision, CV) – це галузь ШІ, що спрямована на аналіз та інтерпретацію візуальної інформації (зображень, відео або інших графічних даних). Комп'ютерний зір використовує методи DL, зокрема, згорткові нейронні мережі (CNN) для аналізу візуальної інформації. У медичному контексті комп'ютерний зір відіграє ключову роль у розпізнаванні, класифікації та аналізі медичних зображень, таких як рентгенограми, магнітно-резонансні томограми (МРТ), комп'ютерні томограми (КТ), ультразвукові дослідження (УЗД), офтальмологічні зображення тощо. Моделі комп'ютерного зору можуть бути успішно застосовані для ранньої діагностики раку легенів, грудної залози, шкіри та інших онкологічних захворювань. При хірургічних утручаннях комп'ютерний зір забезпечує точну візуалізацію хірургічної ділянки, розпізнавання

Таблиця 3

Характеристика ключових мовних моделей

Характеристика	ChatGPT	Gemini	Microsoft Copilot	Claude
Розробник	OpenAI	Google	Microsoft	Anthropic
Основна функція	діалог, генерація тексту, переклад	пошук, генерація контенту, персоналізація, обробка природної мови	підвищення продуктивності, автоматизація завдань	генерація тексту, безпечний та етичний діалог
Інтеграція	багато додатків	продукти Google	Microsoft 365, GitHub	інтеграція в різні системи
Особливості	гнучкість, адаптація, універсальність, багатомовність	мультимодальність, висока точність	автоматизація офісних завдань	безпека, етика, контрольованість
Слабкі сторони	обмежена обізнаність у деяких сферах, можливі неточності	відносно нова модель, обмежений доступ	обмежена доступність, залежність від Microsoft	менша універсальність, ніж у ChatGPT

патологій та анатомічних структур, що дозволяє підвищити не тільки точність, а й безпеку процедур.

Слід виокремити такий важливий компонент медичного ШІ як експертні системи (Expert Systems), під якими розуміють комп'ютерні програми, що імітують процес прийняття рішень експертами в певній галузі. Експертні системи в медичному ШІ активно використовуються для підтримки клінічних рішень, діагностики, планування лікування та оцінювання ризиків. Одним із ключових завдань експертних систем являється аналіз великих обсягів клінічних даних і надання лікарям рекомендацій, заснованих на найкращих доступних доказах.

Інтеграція експертних систем із системами підтримки прийняття клінічних рішень (СППКР) дозволяє лікарям отримувати релевантні рекомендації безпосередньо під час роботи в електронних медичних записах (EHR), що спрощує та прискорює процес ухвалення клінічних рішень. При цьому важливо забезпечити прозорість рішень, що генеруються експертними системами. Адаптація експертних систем до роботи в умовах різних медичних систем і культурних

контекстів дозволить максимально ефективно використовувати їхній потенціал у глобальному масштабі.

До компонентів медичного ШІ відносять також інтелектуальну робототехніку. Інтелектуальна робототехніка з підтримкою ШІ – це напрям, що об'єднує робототехнічні системи з алгоритмами ШІ для виконання складних завдань у медицині. Роботи, оснащені ШІ, здатні не лише виконувати рутинні фізичні дії, але й аналізувати дані, приймати автономні рішення та взаємодіяти з медичним персоналом і пацієнтами. Такі системи використовуються для хірургічних утручань із високою точністю, реабілітації пацієнтів, автоматизації догляду за пацієнтами. Однією з найбільш відомих систем, що застосовуються у хірургії, є роботизована платформа Da Vinci Surgical System, що використовує алгоритми ШІ для забезпечення високоточної візуалізації та управління хірургічними інструментами. Ця система дозволяє хірургам виконувати мінімально інвазивні операції з надзвичайною точністю, зменшуючи ризик ускладнень і скорочуючи період реабілітації пацієнтів.

Інтелектуальна робототехніка також активно використовується для таких складних процедур, як нейрохірургія та ортопедична хірургія.

Медичний ШІ відкриває широкі можливості для інтеграції з новітніми технологіями. Зв'язок медичного ШІ з носимими пристроями, такими як розумні годинники, фітнес-браслети та інші сенсорні пристрої, дозволяє створювати системи для безперервного моніторингу фізіологічних показників пацієнтів. Такі пристрої збирають великі обсяги даних у реальному часі, що дає змогу використовувати алгоритми ШІ для раннього виявлення відхилень, прогнозування загострень хронічних захворювань або попередження критичних станів. Подальше дослідження в напрямках інтеграції медичного ШІ з носимими пристроями та інтернету медичних речей є перспективним для максимального розкриття його потенціалу. Такі інновації сприятимуть переходу до персоналізованої медицини, підвищенню ефективності лікування та покращенню якості життя пацієнтів.

Висновки. Медичний ШІ – комплекс технологій, що інтегруються в клінічну практику, забезпечуючи рішення для конкретних медичних завдань, таких як діагностика, лікування, реабілітація та моніторинг показників здоров'я пацієнтів. Його базовими технологічними складовими є алгоритми машинного та глибокого навчання, великі мультимодальні моделі, обробка природної мови, комп'ютерний зір, експертні системи та інтелектуальна робототехніка. Ці технології забезпечують комплексний аналіз різноманітних медичних даних, таких як медичні зображення, електронні медичні записи, геномні дані, дані носимих пристроїв та інтернету медичних речей для прийняття клінічних рішень, заснованих на найкращих доступних доказах. Унікальними аспектами медичного ШІ являються клінічна орієнтованість, високий рівень відповідальності, реалізація в режимі реального часу, етична і правова специфіка, інтеграція з медичними інформаційними системами, СППКР та платформами телемедицини. Завдяки здатності

аналізувати великі обсяги різномірних даних, виявляти приховані закономірності та генерувати прогнози, медичний ШІ має потенціал істотно змінити парадигму надання медичної допомоги, зробивши її точнішою, персоналізованою та більш ефективною.

Комп'ютерний зір у поєднанні з алгоритмами DL – ефективний для високоточного аналізу медичних зображень, таких як рентгенограми, МРТ та КТ. Технології обробки природної мови, що становлять основу генеративного ШІ, спрямовані на комплексне опрацювання електронних медичних записів, дослідницьких статей і клінічних протоколів. Алгоритми ML, DL використовуються для обробки геномних даних, дозволяючи виявляти генетичні ризики, прогнозувати перебіг захворювань та підбирати персоналізовані терапевтичні підходи. Інтернет медичних речей забезпечує моніторинг показників здоров'я пацієнтів у реальному часі шляхом аналізу даних, отриманих із носимих пристроїв. Перспективною є інтеграція експертних систем з електронними медичними записами, що дозволяє лікарям безпосередньо під час надання медичної допомоги пацієнтам отримувати релевантні рекомендації, засновані на найкращих доступних доказах.

Важливим завданням є формування у лікарів компетентності щодо використання медичного ШІ, оскільки недостатнє розуміння основних концепцій ШІ і навичок роботи ускладнює його інтеграцію у клінічну практику. Проведений комплексний аналіз сучасних технологій медичного ШІ сприяє не лише розумінню його потенціалу, але й окреслює шляхи його інтеграції у клінічну практику та професійну освіту, закладаючи основу для подальших досліджень.

Розглянуто технологічні основи медичного ШІ, зосереджені на його ролі у трансформації системи охорони здоров'я та професійної медичної освіти. В подальших роботах авторами будуть проаналізовані практичні аспекти застосування медичного ШІ, спрямовані на вдосконалення клінічної практики та процесу підготовки лікарів із цифрових технологій.

Література.

1. Artificial Intelligence Applications in Healthcare / Aldali M. // *AlQalam Journal of Medical and Applied Sciences*. – 2024. – P. 597–605.
2. Exploring the Impact of Artificial Intelligence on Global Health and Enhancing Healthcare in Developing Nations / Zuhair V., Babar A., Ali R. et al. // *Journal of Primary Care & Community Health*. – 2024. – Vol. 15. – 21501319241245847.
3. A Review of the Role of Artificial Intelligence in Healthcare / Kuwaiti A., Nazer K., Al-Reedy A., Al-Shehri S. et al. // *Journal of Personalized Medicine*. – 2023. – Vol. 13 (6). – 13060951.
4. Applications of Artificial Intelligence in Nursing Care: A Systematic Review / Martinez-Ortigosa A., Martinez-Granados A., Gil-Hernández E., Rodriguez-Arrastia M. et al. // *Journal of Nursing Management*. – 2023. – P. 1–12.
5. The potential for artificial intelligence in healthcare / Wen Z., Huang H. // *Journal of Commercial Biotechnology*. – 2022. – Vol. 27 (4). – 1327.
6. Advancing Patient Care: How Artificial Intelligence Is Transforming Healthcare / Poalelungi D., Musat C., Fulga A., Neagu M. et al. // *Journal of Personalized Medicine*. – 2023. – Vol. 13 (8). – 1214.
7. Artificial Intelligence in Pharmaceutical and Healthcare Research / Bhattamisra S., Banerjee P., Gupta P., Mayuren J. et al. // *Big Data and Cognitive Computing*. – 2023. – Vol. 7, No 10. – 7010010.
8. Штучний інтелект та патологія наступного покоління: шлях до персоналізованої медицини / Мінцер О., Суласва О., Дудін О. // *Proceedings of the Shevchenko Scientific Society. Medical Sciences*. – 2021. – Том 65, No 2. – С. 68–87.
9. Системна біомедицина як основа персоналізованої та прецизійної медицини / Мінцер О., Бабінцева Л., Мохначов С., Суханова О. // *Медична інформатика та інженерія*. – 2023. – № 1–2. – С. 92–97.
10. A review of medical artificial intelligence / Liu R., Rong Y., Peng Z. // *Global Health Journal*. – 2020. – Vol. 4, No 2. – P. 42–45.
11. Research on Artificial-Intelligence-Assisted Medicine: A Survey on Medical Artificial Intelligence / Gou F., Liu J., Xiao C., Wu J. // *Diagnostics (Basel, Switzerland)*. – 2024. – No 14. – 1472.
12. LLMs and Their Applications in Medical Artificial Intelligence / Mao W., Qiu X., Abbasi A. // *ACM Transactions on Management Information Systems*. – 2024. – Vol. 15, No. 4. – 111.
13. Leveraging foundation and large language models in medical artificial intelligence / Wong I., Monteiro O., Baptista-Hon D., Wang K. et al. // *Chinese Medical Journal*. – 2024. – Vol. 137(21). – P. 2529–2539.
14. Medical artificial intelligence readiness scale for medical students (MAIRS-MS) – development, validity and reliability study / Karaca O., Çalışkan S., Demir K. // *BMC Medical Education* – 2021. – Vol. 21(1). – 112.
15. Artificial Intelligence and Decision-Making in Healthcare: A Thematic Analysis of a Systematic Review of Reviews / Khosravi M., Zare Z., Mojtabaeian S., Izadi R. // *Health Services Research and Managerial Epidemiology*. – 2024. – Vol. 11. – P. 1–15.
16. Artificial intelligence to support clinical decision-making processes / García-Vidal C., Sanjuán G., Puerta-Alcalde P., Moreno-García E. et al. // *EBioMedicine*. – 2019. – Vol. 46. – P. 27–29.
17. Towards effective clinical decision support systems: A systematic review / Hak F., Guimarães T., Santos M. // *PLoS ONE*. – 2022. – Vol. 17(8). – P. 1–19.
18. Understanding, explaining, and utilizing medical artificial intelligence / Cadario R., Longoni C., Morewedge C. // *Nature Human Behaviour*. – 2021. – Vol. 5. – P. 1636–1642.
19. Public perceptions on the application of artificial intelligence in healthcare: a qualitative meta-synthesis / Wu C., Xu H., Bai D., Chen X. et al. // *BMJ Open*. – 2022. – Vol. 13. – P. 1–14.
20. Designing medical artificial intelligence for in- and out-groups / Li W., Zhou X., Yang Q. // *Computers in Human Behavior*. – 2021. – Vol. 124. – 106929.
21. Medical artificial intelligence ethics: A systematic review of empirical studies / Tang L., Li J., Fantus S. // *Digital Health*. – 2023. – Vol. 9. – 20552076231186064.
22. Expectations and attitudes towards medical artificial intelligence: A qualitative study in the field of stroke / Amann J., Vayena E., Ormond K., Frey D. et al. // *PLOS ONE*. – 2023. – Vol. 18(1). – e0279088.
23. Ethics and governance of artificial intelligence for health: Guidance on large multi-modal models. World Health Organization. – 2024. – Режим доступу: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240084759>.

24. Використання штучного інтелекту на основі принципів самоконтролю та перехресного контролю рішень, що приймаються в біології та медицині / Мінцер О., Лук'янов Є. // Системи та засоби штучного інтелекту: тези доповідей Міжнародної наукової конференції «Штучний інтелект: досягнення, виклики та ризики». – Київ: ІПІШ «Наука і освіта». – 2024. – С. 269–310.

25. Рамка цифрової компетентності працівника охорони здоров'я України. Міністерство охорони здоров'я України. – 2024 – 07 лют. Режим доступу: <http://surl.li/mifthj>.

26. Методичні рекомендації до практичних занять з медичної інформатики, розроблені за грантовою програмою проєкту USAID «Підтримка реформи охорони здоров'я» з розвитку цифрових компетентностей працівників охорони здоров'я

та здобувачів медичної та фармацевтичної освіти, виконаної в рамках контракту No72012118C00001 / Чалий К., Кривенко І. // Національний медичний університет імені О. О. Богомольця. – Київ. – 2024. – С. 269–310. – Режим доступу: <https://drive.google.com/file/d/15gLoSCZYaetx2--6OQP9Mr1kIR1YhYJm/view>.

27. The internet of medical things in the patient-centered digital clinic's ecosystem / Kryvenko I., Hryniovskyi A., Chalyy K. // Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. Springer. – 2023. – Vol. 178. – P. 515–529.

28. Phenomenological toolkit of the metaverse for medical informatics' adaptive learning / Kryvenko I., Chalyy K. // Educación Médica. – 2023. – Vol. 24(5). – 100854.

References.

1. Aldali, M. (2024). Artificial Intelligence Applications in Healthcare. *AlQalam Journal of Medical and Applied Sciences*, 597–605. doi: 10.54361/ajmas.247323.

2. Zuhair, V., Babar, A., Ali, R., Oduoye, M., Noor, Z., Chris, K., Okon, I., Rehman, L. (2024). Exploring the Impact of Artificial Intelligence on Global Health and Enhancing Healthcare in Developing Nations. *Journal of Primary Care & Community Health*, 15, 21501319241245847. doi: 10.1177/21501319241245847.

3. Kuwaiti, A., Nazer, K., Al-Reedy, A., Al-Shehri, S., Al-Muhanna, A., Subbarayalu, A., Muhanna, D., Al-Muhanna, F. (2023). A Review of the Role of Artificial Intelligence in Healthcare. *Journal of Personalized Medicine*, 13 (6), 13060951. doi: 10.3390/jpm13060951.

4. Martinez-Ortigosa, A., Martinez-Granados, A., Gil-Hernández, E., Rodriguez-Arrastia, M., Roperopadilla, C., Román, P. (2023). Applications of Artificial Intelligence in Nursing Care: A Systematic Review. *Journal of Nursing Management*, 1–12. doi: 10.1155/2023/3219127.

5. Wen, Z., Huang, H. (2022). The potential for artificial intelligence in healthcare. *Journal of Commercial Biotechnology*, 27 (4), 1327. doi: 10.5912/jcb1327.

6. Poalelungi, D., Musat, C., Fulga, A., Neagu, M., Neagu, A., Piraianu, A., Fulga, I. (2023). Advancing Patient Care: How Artificial Intelligence

Is Transforming Healthcare. *Journal of Personalized Medicine*, 13(8), 1214. doi: 10.3390/jpm13081214.

7. Bhattamisra, S., Banerjee, P., Gupta, P., Mayuren, J., Patra, S., Candasamy, M. (2023). Artificial Intelligence in Pharmaceutical and Healthcare Research. *Big Data and Cognitive Computing*, 7(10), 7010010. doi: 10.3390/bdcc7010010.

8. Mintser, O. P., Sulaieva, O., Dudin, O. (2021). Shtuchnyi intelekt ta patolohiia nastupnoho pokolinnia: shliakh do personalizovanoi medytsyny [Artificial Intelligence and Next-Generation Pathology: The Road to Personalized Medicine]. *Proceedings of the Shevchenko Scientific Society. Medical Sciences*, 65, 2, 68–87. [In Ukrainian].

9. Mintser, O., Babintseva, L., Mokhnachov, S., Sukhanova, O. (2023). Systemna biomedytsyna yak osnova personalizovanoi ta pretsyziinoi medytsyny [Systemic Biomedicine as the Foundation of Personalized and Precision Medicine]. *Medychna informatyka ta inzheneriia*, (1-2), 92–97. doi: 10.11603/mie.1996-1960.2023.1-2.13963. [In Ukrainian].

10. Liu, R., Rong, Y., Peng, Z. (2020). A review of medical artificial intelligence. *Global Health Journal*, 4, No 2, 42–45. doi: 10.1016/j.glohj.2020.04.002.

11. Gou, F., Liu, J., Xiao, C., Wu, J. (2024). Research on Artificial-Intelligence-Assisted Medicine: A Survey on Medical Artificial Intelligence. *Diagnostics (Basel, Switzerland)*, 14, 1472. doi: 10.3390/diagnostics14141472.

12. Mao, W., Qiu, X., Abbasi, A. (2024). LLMs and Their Applications in Medical Artificial Intelligence. *ACM Transactions on Management Information Systems*, 15, No 4, 111. doi: 10.1145/371183.
13. Wong, I. N., Monteiro, O., Baptista-Hon, D. T. et al. (2024). Leveraging foundation and large language models in medical artificial intelligence. *Chinese Medical Journal*, 137(21), 2529–2539.
14. Karaca, O., Çalışkan, S.A. Demir, K. (2021). Medical artificial intelligence readiness scale for medical students (MAIRS-MS) – development, validity and reliability study. *BMC Medical Education*, 21(1), 112. doi: 10.1186/s12909-021-02546-6.
15. Khosravi, M., Zare, Z., Mojtabaieian, S., Izadi, R. (2024). Artificial Intelligence and Decision-Making in Healthcare: A Thematic Analysis of a Systematic Review of Reviews. *Health Services Research and Managerial Epidemiology*, 11, 1–15. doi: 10.1177/23333928241234863.
16. García-Vidal, C., Sanjuán, G., Puerta-Alcalde, P., Moreno-García, E., Soriano, A. (2019). Artificial intelligence to support clinical decision-making processes. *EBioMedicine*, 46, 27–29. doi: 10.1016/j.ebiom.2019.07.019.
17. Hak, F., Guimarães, T., Santos, M. (2022). Towards effective clinical decision support systems: A systematic review. *PLoS ONE*, 17(8), 1–19. doi: 10.1371/journal.pone.0272846.
18. Cadario, R., Longoni, C., Morewedge, C. (2021). Understanding, explaining, and utilizing medical artificial intelligence. *Nature Human Behaviour*, 5, 1636–1642. doi: 10.1038/s41562-021-01146-0.
19. Wu, C., Xu, H., Bai, D., Chen, X., Gao, J., Jiang, X. (2022). Public perceptions on the application of artificial intelligence in healthcare: a qualitative meta-synthesis. *BMJ Open*, 13, 1–14. doi: 10.1136/bmjopen-2022-066322.
20. Li, W., Zhou, X., Yang, Q. (2021). Designing medical artificial intelligence for in- and out-groups. *Computers in Human Behavior*, 124, 106929. doi: 10.1016/j.chb.2021.106929.
21. Tang, L., Li, J., Fantus, S. (2023). Medical artificial intelligence ethics: A systematic review of empirical studies. *Digital Health*, 9, 20552076231186064. doi: 10.1177/20552076231186064.
22. Amann, J., Vayena, E., Ormond, K., Frey, D., Madai, V., Blasimme, A. (2023). Expectations and attitudes towards medical artificial intelligence: A qualitative study in the field of stroke. *PLOS ONE*, 18(1), e0279088. doi: 10.1371/journal.pone.0279088.
23. (2024). Ethics and governance of artificial intelligence for health: Guidance on large multi-modal models. World Health Organization. Available from: <https://www.who.int/publications/item/9789240084759>.
24. Mintser, O. P., Lukianov, Ye. Yu. (2024). Vykorystannia shtuchnoho intelektu na osnovi pryntsyviv samokontroliu ta perekhresnoho kontroliu rishen, shcho pryimaiutsia v biolohii ta medytsyni [The Use of Artificial Intelligence Based on Principles of Self-Monitoring and Cross-Verification of Decisions in Biology and Medicine]. *Systemy ta zasoby shtuchnoho intelektu: tezy dopovidei Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii «Shtuchnyi intelekt: dosiahnennia, vyklyky ta ryzyky»*, 269–310. [In Ukrainian].
25. (2024). Ramka tsyfrovoy kompetentnosti pratsivnyka okhorony zdorovia Ukrainy. Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy [The Digital Competence Framework for Healthcare Workers in Ukraine]. Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy. Available from: <http://surl.li/mifthj>. [In Ukrainian].
26. Chalyy, K.O., Kryvenko, I.P. (2024). Metodychni rekomendatsii do praktychnykh zaniat z medychnoi informatyky, rozrobleni za hrantovoiu prohramoiu proiektu USAID «Pidtrymka reformy okhorony zdorovia» z rozvytku tsyfrovyykh kompetentnostei pratsivnykiv okhorony zdorovia ta zdobuvachiv medychnoi ta farmatsevtychnoi osvity, vykonanoi v ramkakh kontraktu No72012118C00001 [Methodological recommendations for practical classes in medical informatics, Developed Under the Grant Program of the USAID Project «Health Reform Support» for the Development of Digital Competencies of Healthcare Workers and Students of Medical and Pharmaceutical Education, Implemented Under Contract No. 72012118C00001]. Bogomolets National Medical University. 269–310. Available from: <https://drive.google.com/file/d/15gLoSCZYaetx2--6OQP9Mr1kIR1YhYJm/view>. [In Ukrainian].
27. Kryvenko, I., Hrynzovskyi, A., Chalyy, K. (2023). The internet of medical things in the patient-centered digital clinic's ecosystem. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. Springer, 178. 515–529. doi: 10.1007/978-3-031-35467-0_31.

28. Kryvenko, I., Chalyy, K. (2023). Phenomenological toolkit of the metaverse for medical informatics' adaptive learning. *Educación Médica*, 24(5), 100854. doi: 10.1016/j.edumed.2023.100854.

ORCID:

Kyrylo O. Chalyy: 0000-0001-7077-0324

Inna P. Kryvenko: 0000-0001-5539-8632