

ВИКЛИКИ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМІ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

О. А. Панченко, В. О. Оніщенко

*ДНП «Науково-практичний медичний реабілітаційно-діагностичний центр
Міністерства охорони здоров'я України» (м. Київ, Україна)*

Анотація. У статті досліджено сучасні виклики, пов'язані з впровадженням технологій штучного інтелекту в систему охорони здоров'я. Проаналізовано роль штучного інтелекту у розвитку персоналізованої медицини, мобільної охорони здоров'я та підвищенні ефективності діагностики й лікування хронічних захворювань. Розглянуто основні напрями застосування штучного інтелекту, зокрема аналіз медичних даних, підтримку клінічних рішень, прогнозування перебігу захворювань і використання мобільних медичних застосунків. Особливу увагу приділено проблемам і ризикам інтеграції штучного інтелекту, серед яких: забезпечення конфіденційності та безпеки персональних даних пацієнтів, відсутність стандартизованих методів оцінювання ефективності цифрових медичних технологій, недостатня відтворюваність результатів, обмежена узагальнювальна здатність моделей та високі вимоги до обчислювальних ресурсів.

Окреслено етичні аспекти використання штучного інтелекту, включаючи забезпечення прозорості алгоритмів, відповідальності, справедливості та захисту автономії пацієнтів. Узагальнено підходи до подолання виявлених викликів, зокрема впровадження стандартів обробки даних, використання синтетичних даних, розробку освітніх програм для медичних працівників та формування нормативно-правової бази. Визначено перспективи широкого впровадження штучного інтелекту у сфері охорони здоров'я як інструменту підвищення якості медичної допомоги та ефективності управління здоров'ям населення.

Ключові слова: штучний інтелект; охорона здоров'я; мобільна медицина; персоналізована медицина; медичні дані; етичні аспекти.

CHALLENGES RELATED TO THE IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE HEALTHCARE SYSTEM

O.A. Panchenko, V.O. Onishchenko

*State Non-Profit Enterprise "Scientific and Practical Medical Rehabilitation
and Diagnostic Center of the Ministry of Health of Ukraine" (Kyiv, Ukraine)*

Abstract. Background. The rapid development of artificial intelligence technologies has significantly influenced modern healthcare, particularly in the context of personalized medicine and mobile health (mHealth). Artificial intelligence enables the analysis of large volumes of medical data, supports clinical decision-making, and improves the management of chronic diseases. However, despite its growing potential, the integration of artificial intelligence into healthcare systems is associated with a number of technological, organizational, and ethical challenges that require comprehensive analysis.

Materials and Methods. The study is based on a theoretical analysis of scientific publications and systematic reviews devoted to the application of artificial intelligence in healthcare. Data were collected and systematized using leading scientometric databases, including Scopus, PubMed, and ScienceDirect. General scientific methods of information retrieval, comparison, analysis, and synthesis were applied to identify key challenges and risks related to the implementation of artificial intelligence technologies in medical practice.

Results. The analysis identified major challenges in the implementation of artificial intelligence in healthcare, including issues of data privacy and security, lack of standardized approaches to evaluating digital health technologies, limited reproducibility of results, and insufficient generalizability of models. Additional concerns include high computational requirements, variability and heterogeneity of medical data, and the need for interdisciplinary integration.

Conclusions. The effective integration of artificial intelligence into healthcare is possible only through overcoming key technological and ethical barriers. The development of standardized data processing protocols, implementation of regulatory frameworks, use of synthetic data, and training of healthcare professionals are essential steps toward the large-scale adoption of artificial intelligence-based solutions.

Key words: artificial intelligence; healthcare; mHealth; personalized medicine; medical data; ethical challenges.

Вступ. Технології штучного інтелекту (далі – ШІ) дедалі ширше інтегруються у сучасну систему охорони здоров'я. Мобільні медичні застосунки забезпечують можливість контролю перебігу хронічних захворювань та сприяють формуванню раціональної поведінки пацієнтів щодо власного здоров'я, зменшенню кількості відвідувань медичних закладів і підвищенню доступності медичної допомоги для маломобільних груп населення. Водночас на сьогодні існує низка проблем, що обмежують впровадження штучного інтелекту у діяльність системи охорони здоров'я.

Використання сучасних комп'ютерних технологій для контролю за здоров'ям пацієнтів із неінфекційними захворюваннями (далі – НІЗ) – це важливий етап технічного прогресу в системі охорони здоров'я. Доступ до Інтернету має щонайменше 55% населення світу [1]. Понад 5 млрд. осіб користуються мобільними телефонами з доступом до тисяч мобільних медичних застосунків [2,3]. Це дає змогу контролювати здоров'я пацієнтів у домашніх умовах. За даними систематичних оглядів і метааналізу Інтернет-втручань, спрямованих на корекцію поведінки щодо здоров'я за допомогою мобільних застосунків

у групах пацієнтів із НІЗ, встановлено значні поліпшення поведінки пацієнтів. Це стосується таких факторів ризику, як гіподинамія, неправильне харчування і вживання алкоголю [4]. Водночас використання кількох способів застосування комп'ютерних технологій, зокрема поєднання Інтернет-ресурсів та текстових повідомлень, має більш виражений вплив на поведінку пацієнтів.

Мета дослідження: проаналізувати можливі ризики та проблеми, пов'язані з впровадженням ШІ в роботу системи охорони здоров'я, з урахуванням етичних аспектів широкого застосування ШІ.

Матеріал і методи дослідження. За даними літературних джерел і систематичних оглядів було проведено теоретичний аналіз та узагальнено інформацію про застосування ШІ в роботі системи охорони здоров'я. Також відокремлено можливі ризики та проблеми, пов'язані з впровадженням ШІ з урахуванням етичних аспектів. Результати дослідження систематизовано з використанням баз даних наукових періодичних видань: Scopus, PubMed, ScienceDirect тощо. На різних етапах дослідження застосовувалися класичні методи пошуку та систематизації інформації.

Результати та їх обговорення. Огляди комунікаційних технологій, які забезпечують надання медичних послуг і полегшують взаємодію пацієнтів і фахівців [5] засвідчили: поліпшення в самоконтролі НІЗ не поступаються позитивним змінам структурованих програм на базі медичних центрів [6]. Подібним чином огляди втручань із використанням мобільних текстових повідомлень показали стійку зміну поведінки щодо здоров'я. Цифрова охорона здоров'я виявилась простішою у використанні, гнучкою та більш економічно обґрунтованою, ніж традиційні стаціонарні втручання [7].

Сучасна клінічна практика все частіше ґрунтується на врахуванні фенотипічних особливостей пацієнтів при призначенні лікування. Персоналізована медицина орієнтується на превентивні заходи та поліпшення способів лікування. Вона спирається на генетичні, фенотипічні, екологічні особливості та спосіб життя кожної окремої людини. Рутинне спостереження та рекомендації для пацієнтів мають важливе значення в лікуванні хронічних захворювань. У цьому контексті ШІ може стати корисним комп'ютерним асистентом для лікарів. Застосування ШІ вже показало свою ефективність під час лікування захворювань за різними нозологіями. ШІ також ефективний при контролі раціону харчування, рівня глюкози крові та фізичної активності при діагнозі цукрового діабету. У разі кардіоваскулярної патології, ШІ здатний діагностувати фібриляцію передсердь. У разі легеневої патології може аналізувати звуки дихання пацієнта і передбачити виникнення та розвиток респіраторних захворювань [8]. Важливо зазначити, що ШІ не замінює лікаря. Він призначений для використання разом з експертними знаннями медичних фахівців з метою поліпшення діагностики та прийняття рішень [9]. Крім цього, ШІ може знизити фінансові та часові витрати на діагностику хронічних захворювань, покращуючи якість медичної допомоги [10]. Дослідження показали також, що комбінування ШІ та практичного досвіду фахівців зумовлює підвищення точності діагностики ракових уражень шкіри [11]. Лікар може з легкістю розрізнити

затемнені й розмиті зображення, покращити їхню якість перед застосуванням ШІ. Сам алгоритм використовує всі доступні зображення, допомагаючи лікарю в складних випадках. Таким чином, завдяки такому підходу скорочується можливість помилок при встановленні діагнозу.

Перевагою використання ШІ є можливість точно відрізнити пацієнтів із діабетом від осіб без цього захворювання [12]. За допомогою ШІ можна прогнозувати мікросудинні ускладнення, такі як ретинопатія, нефропатія або невропатія [13]. Також оцінити важливість предикторів розвитку діабету [14]. Крім того, були запропоновані моделі прогнозування ризику діабету, засновані на поєднанні клінічних знань і методів ШІ [15].

У персоналізованій медицині застосовується стандартна робоча схема використання великих даних і алгоритмів ШІ. Кілька джерел даних про пацієнтів об'єднуються із загальнодоступними даними про різні великі групи населення. Цю інформацію зберігають на серверах із високим рівнем захисту, щоб використовувати в різних методах попередньої обробки. Ці методи охоплюють заповнення пропусків, нормалізацію даних, збалансування і доповнення інформації, об'єднання даних, а також відбір і виділення характеристик. Ці попередньо оброблені дані, в подальшому використовують як вхідну інформацію для моделей прогнозування ШІ та його навчання [16].

У Німеччині розроблений інтерактивний ресурс AMBOSS – комплексна платформа для медичної освіти. AMBOSS пропонує широкий спектр ресурсів, включаючи велику бібліотеку медичних знань і банк питань з відповідями сучасної медицини. Зазначений ресурс використовується як цифровий супутник для практики, навчання та викладання із залученням технічних функцій ШІ, що трансформує освіту у кращий бік [17]. ШІ дозволяє лікарю дізнатися, чи сумісні між собою два лікарські засоби, які можливі діагнози при такому наборі симптомів і яке лікування рекомендують останні дослідження. Це допомагає лікарю бути більш впевненим у своїх діях.

AMBOSS підвищує продуктивність персоналу, заощаджуючи час, дозволяючи обслуговувати більше пацієнтів за той самий проміжок часу. Адаптовані діагностичні та терапевтичні рішення, засновані на дослідженнях в AMBOSS, мають прямий вплив на якість медичної допомоги. Це може, зокрема, запобігти подальшим витратам через неправильні діагнози або ускладнення.

Незважаючи на ШІ, AMBOSS робить акцент на людській експертизі. Всі статті та матеріали перевіряються фахівцями, тому AMBOSS дотримується стандартів доказової медицини. Лікарям і студентам важливо пам'ятати: ШІ – це інструмент допомоги, а не заміна для професійного судження та джерел.

Застосування ШІ в медицині також пов'язане з низкою проблем: відсутністю критичного мислення у ШІ і високими витратами на збір даних [18]. Так, у дерматології застосування алгоритмів ШІ використовували, щоб відрізнити доброякісні родимки від злоякісних [19]. Основним об'єктом уваги в цій галузі було виявлення меланоми, оскільки вона часто дає метастази й, як відомо, спричиняє понад 80 % смертей від раку шкіри у світлошкірих людей [20]. Однак немеланомні види раку шкіри також аналізуються з використанням ШІ. Повсюдне поширення мобільних пристроїв, які в більшості випадків мають вбудовану цифрову камеру, дає можливість впровадити теледерматологію як загально прийнятну практику [21].

Інші напрями використання мобільних застосунків на основі ШІ включають аналіз результатів лікування пацієнтів після хірургічних втручань [22], а також підтримку вирішення актуальних проблем громадського здоров'я, зокрема ведення пацієнтів із новою коронавірусною інфекцією [23]. Наведені приклади відображають лише частину можливостей застосування ШІ в мобільній медицині. Такі рішення мають значний потенціал для покращення стану громадського здоров'я, особливо в регіонах із обмеженим доступом до медичних ресурсів.

Забезпечення конфіденційності та безпеки даних, створення освітніх програм, розуміння принципів

роботи класифікаційних процесів і професійна оцінка в галузі медицини також є важливими аспектами під час використання ШІ в медичній практиці. Подолання цих проблем і розв'язання питань, пов'язаних із конфіденційністю та безпекою даних, дадуть змогу ширше застосовувати ШІ в медицині.

Слід визначити наступні проблемні питання, що пов'язані з технологіями ШІ:

- структура та походження даних;
 - велика кількість складних і різноманітних баз даних створює проблему в стандартизації даних, отриманих з різних джерел. Це може привести до труднощів в подальшому об'єднанні даних;
 - лабораторні результати часто страждають від невизначеності через випадкові або систематичні помилки, що впливає на якість даних. Їхня достовірність і точність можуть безпосередньо залежати від дій оператора;
 - для ефективного навчання алгоритмів ШІ необхідні великі обсяги даних;
 - значну увагу потрібно приділяти архітектурі алгоритмів;
 - недостатня відтворюваність результатів стає проблемою, оскільки різні процеси навчання можуть призвести до різних прогнозів у різних клінічних умовах;
 - проблеми з переоснащенням: моделі ШІ можуть виявитися нездатними до узагальнення для великих і різних груп населення;
 - високі вимоги до обчислювальної потужності та часу;
 - висока варіабельність та динамічне оновлення внутрішньо- і міжіндивідуальних даних.
- Крім того, доцільно визначити й інші проблемні аспекти, що пов'язані з медичними дослідженнями:
- інтеграція різних дисциплін у процесі досліджень;
 - забезпечення безпеки та конфіденційності даних, отриманих від різних осіб і необхідних для навчання алгоритмів;
 - розробка освітньої програми, заснованої на принципах глибокого навчання;
 - необхідність усвідомлення роботи класифікаційних процесів;

– професійна оцінка в галузі медицини: необхідні підтвердження клінічними даними та перевірка виявлених закономірностей.

В умовах інтенсивного розвитку інформаційних технологій пошук відкритих і достовірних даних для навчання ШІ залишається складним завданням. Існують також невирішені етичні аспекти, пов'язані із забезпеченням конфіденційності клінічної інформації. Додатковою проблемою є значні ресурсні витрати, необхідні для збору та обробки даних.

У сукупності ці фактори стримують розвиток алгоритмів ШІ. У разі використання обмежених за обсягом вибірок такі алгоритми не здатні ефективно узагальнювати результати на ширшу популяцію [9]. Одним із підходів до подолання цієї проблеми є застосування синтетичних даних (моделювання) [24]. Зокрема, для оцінки ризику розвитку цукрового діабету 2 типу використовувалися модельовані дані у поєднанні з алгоритмами ШІ. Порівняння результатів п'яти досліджень дозволило оцінити узгодженість висновків, отриманих на основі синтетичних і реальних даних [25]. Встановлено, що синтетичні дані можуть слугувати підґрунтям для формування клінічних гіпотез. Водночас цей напрям залишається відносно новим і потребує подальших досліджень [26].

Навіть зважаючи на наявність принципів і правил, все ще відсутні уніфіковані методи вимірювання клінічних результатів цифрової охорони здоров'я. Немає уніфікованої стратегії для підтримки участі користувачів з подальшою зміною їхньої поведінки в довгостроковій перспективі. Інтеграція технологій ШІ може значно покращити персоналізацію медичної допомоги. Рівень залученості користувачів допоможе вибрати більш здоровий спосіб життя. Однак перед тим як цифрова охорона здоров'я на основі ШІ зможе бути інтегрована в повсякденну клінічну практику і віддалене медичне обслуговування, необхідно вирішити кілька проблем. Збір і нормалізація інформації, відтворюваність, невизначеність результатів роботи та складність обчислень при використанні ШІ являють собою

технічні перешкоди, що потребує подальшого дослідження. Подолання цих перешкод сприятиме широкому застосуванню цієї технології в медицині. Необхідно також висвітлити питання безпеки та конфіденційності даних пацієнтів, з метою утворення довіри щодо використання мобільних застосунків, заснованих на ШІ. Застосування синтетичних даних для тренування алгоритмів ШІ є перспективним підходом для часткового подолання цих складнощів.

До інших проблем застосування ШІ в медичних застосунках належать значні витрати часу на обробку даних і виконання алгоритмів. Це має вирішальне значення для діагностичних інструментів, які потребують оперативного отримання результатів. Водночас інформація про використовуване експериментальне обладнання та час обробки даних у дослідженнях висвітлюється недостатньо [27].

Таким чином, необхідними є подальші дослідження у сфері застосування ШІ в персоналізованій медицині та мобільних застосунках. Крім того, для підвищення ефективності та розширення використання ШІ пацієнтами й медичними працівниками необхідно розробити політику управління конфіденційними даними. Така політика управління має ґрунтуватися на чітко визначених критеріях якості. Крім того, необхідно розробити та впровадити стандартизовані протоколи збору даних.

Доповідь Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВОЗ) «Етика та управління штучним інтелектом в інтересах охорони здоров'я» за 2021 рік є важливим джерелом, що комплексно висвітлює зазначену проблематику [28]. У документі наголошується на необхідності забезпечення етичного та відповідального використання технологій ШІ. Його метою є формування підходів до ефективного управління ШІ та його інтеграції в систему охорони здоров'я. Доповідь також охоплює ключові аспекти, пов'язані з етичними викликами та ризиками застосування ШІ у медичній сфері.

Захист автономії пацієнтів передбачає забезпечення їхнього права контролювати власні дані та приймати рішення щодо свого здоров'я

з урахуванням використання ШІ в медичній практиці. Водночас необхідно розробити ефективні механізми інформованої згоди, які враховують специфіку застосування ШІ в діагностиці та лікуванні.

Сприяння добробуту людей, їхній безпеці та суспільним інтересам. Необхідно гарантувати, що впровадження ШІ в охорону здоров'я принесе реальну користь пацієнтам і не становить загрози їхній безпеці. Треба враховувати суспільні інтереси під час розроблення та впровадження ШІ-рішень, щоб уникнути можливих негативних наслідків для суспільства.

Забезпечення прозорості, зрозумілості та інтерпретованості передбачає відкритість алгоритмів і принципів функціонування систем ШІ, що дає змогу пацієнтам і медичним фахівцям розуміти логіку прийнятих рішень. Розвиток методів пояснюваного ШІ сприяє підвищенню рівня довіри та прийняття цих технологій у медичному середовищі.

Підвищення відповідальності та підзвітності передбачає формування чітких організаційних структур і розроблення нормативно-правових засад використання ШІ в системі охорони здоров'я. Важливим є також запровадження механізмів відповідальності у разі виникнення помилок або негативних наслідків під час застосування ШІ.

Забезпечення інклюзивності та справедливості. Даний фактор має гарантувати, що розробка та застосування ШІ в системі охорони здоров'я враховує різноманітність пацієнтів та їхніх потреб. Потрібно уникати дискримінації під час навчання алгоритмів на основі даних, щоб запобігти можливим нерівностям у результаті дії ШІ.

Ефективне управління та успішна інтеграція ШІ в медичну практику з урахуванням етичних норм і мінімізації ризиків забезпечуються такими заходами:

- просування адаптивного та стійкого ШІ;
- ефективне подолання актуальних викликів, пов'язаних з інтеграцією мобільних застосунків у сферу охорони здоров'я та шляхів застосування ШІ в медичних системах [9];

– формування та впровадження міжнародних програм сертифікації для мобільних застосунків у сфері охорони здоров'я, що забезпечують стандартизований і безпечний рівень функціональності;

– розроблення нових моделей і встановлення глобальних стандартів для обробки даних, спрямованих на оцінку зручності використання та застосовності ШІ в медичному середовищі;

– формування єдиних методологій для вимірювання ступеня залученості користувачів і клінічних результатів, які пов'язані зі змінами в поведінці при використанні мобільних застосунків охорони здоров'я;

– розробка інноваційних протоколів, спрямованих на систематизацію та стандартизацію процесів збору і нормалізації даних. Використання унікального підходу до об'єднання різноманітних джерел інформації. Це приведе до зниження ступеня невизначеності в результатах і розширення навчальної бази даних та посприяє поліпшенню узагальнених алгоритмів на основі ШІ;

– аналіз і виділення нормативних протоколів і стратегій, заснованих на високих стандартах якості. Метою є забезпечення абсолютної конфіденційності та безпеки призначених для користувача даних у мобільних застосунках охорони здоров'я. Експлуатація ШІ для підвищення відтворюваності отриманих результатів на основі високих стандартів.

Такі заходи не тільки усувають поточні перешкоди, а й сприяють створенню загальноновизнаних норм і практик у сфері медичного інформаційного обміну. Вони відкривають нові перспективи для впровадження інноваційних технологій в охорону здоров'я.

Висновки. 1. Встановлено, що застосування штучного інтелекту та великих масивів даних у медицині сприяє підвищенню ефективності профілактики, діагностики та лікування хронічних захворювань, зокрема в межах мобільної охорони здоров'я.

2. Визначено, що основними обмеженнями впровадження ШІ є проблеми забезпечення

конфіденційності та безпеки персональних даних, відсутність стандартизованих підходів до оцінювання ефективності цифрових медичних технологій, а також недостатня передбачуваність і відтворюваність результатів.

3. Показано, що складність довгострокового оцінювання клінічних результатів і підтримки залученості користувачів стримує широке впровадження мобільних застосунків у сфері охорони здоров'я.

Література.

1. Design and usability evaluation of user-centered and visual-based aids for dietary food measurement on mobile devices in a randomized controlled trial / Liu Y., Chen C., Lee C., Lin Y., Chen H., Yeh J., Chiu S. Y. // *J. Biomed. Inform.* – 2016. – Vol. 64. – P. 122–130. – DOI: 10.1016/j.jbi.2016.10.001.
2. Usability of food size aids in mobile dietary reporting apps for young adults: randomized controlled trial / Liu Y., Wu S., Lin S., Chen C., Lin Y., Chen H. // *JMIR Mhealth Uhealth.* – 2020. – Vol. 8. – № 4. – e14543. – DOI: 10.2196/14543.
3. Design and usability evaluation of mobile voice-added food reporting for elderly people: randomized controlled trial / Liu Y., Chen C., Lin Y., Chen H., Irianti D., Jen T., Yeh J., Chiu S. Y. // *JMIR Mhealth Uhealth.* – 2020. – Vol. 8. – № 9. – e20317. – DOI: 10.2196/20317.
4. Commercially available apps to support healthy family meals: user testing of app utility, acceptability, and engagement / Mauch C. E., Laws R. A., Prichard I., Maeder A. J., Wycherley T. P., Golley R. K. // *JMIR Mhealth Uhealth.* – 2021. – Vol. 9. – № 5. – e22990. – DOI: 10.2196/22990.
5. Beyond validation: getting health apps into clinical practice / Gordon W. J., Landman A., Zhang H., Bates D. W. // *NPJ Digit. Med.* – 2020. – Vol. 3. – Article 14. – DOI: 10.1038/s41746-019-0212-z.
6. Nutritional mobile applications for CKD patients: systematic review / Kosa S. D., Monize J., D'Souza M. et al. // *Kidney Int. Rep.* – 2019. – Vol. 4. – № 3. – P. 399–407. – DOI: 10.1016/j.ekir.2018.11.016.
7. The mHealth app usability questionnaire (MAUQ): development and validation study / Zhou L., Bao J., Setiawan I. M., Saptono A., Parmanto B. // *JMIR Mhealth Uhealth.* – 2019. – Vol. 7. – № 4. – e11500. – DOI: 10.2196/11500.
8. Precision medicine, artificial intelligence, and the future of personalized health care / Johnson K. B., Wei W., Weeraratne D. et al. // *Clin. Transl. Sci.* – 2021. – Vol. 14. – № 1. – P. 86–93. – DOI: 10.1111/cts.12884.
9. Quality, usability, and effectiveness of mHealth apps and the role of artificial intelligence: current scenario and challenges / Deniz-Garcia A., Fabelo H., Rodriguez-Almeida A. J. // *J. Med. Internet Res.* – 2023. – Vol. 25. – e44030. – DOI: 10.2196/44030.
10. Application of mobile health, telemedicine and artificial intelligence to echocardiography / Seetharam K., Kagiyama N., Sengupta P. P. // *Echo Res. Pract.* – 2019. – Vol. 6. – № 2. – P. R41–R52. – DOI: 10.1530/ERP-18-0081.
11. Augmented intelligence dermatology: deep neural networks empower medical professionals in diagnosing skin cancer and predicting treatment options for 134 skin disorders / Han S. S., Park I., Eun Chang S. et al. // *J. Invest. Dermatol.* – 2020. – Vol. 140. – № 9. – P. 1753–1761. – DOI: 10.1016/j.jid.2020.01.019.
12. Use of machine learning approaches in clinical epidemiological research of diabetes / Basu S., Johnson K. T., Berkowitz S. A. // *Curr. Diabetes Rep.* – 2020. – Vol. 20. – № 12. – Article 80. – DOI: 10.1007/s11892-020-01353-5.
13. Machine learning methods to predict diabetes complications / Dagliati A., Marini S., Sacchi L. et al. // *J. Diabetes Sci. Technol.* – 2018. – Vol. 12. – № 2. – P. 295–302. – DOI: 10.1177/1932296817706375.

14. Diabetes mellitus prediction and feature importance score finding using extreme gradient boosting / Akter L., Al-Islam F. // Proc. Int. Conf. Emerging Technologies and Intelligent Systems (ICETIS 2021). Lecture Notes in Networks and Systems. – Cham: Springer, 2022. – Vol. 322. – P. 643–654. – DOI: 10.1007/978-3-030-85990-9_52.
15. Establishment of noninvasive diabetes risk prediction model based on tongue features and machine learning techniques / Li J., Chen Q., Hu X. et al. // Int. J. Med. Inform. – 2021. – Vol. 149. – Article 104429. – DOI: 10.1016/j.ijmedinf.2021.104429.
16. Learning for personalized medicine: a comprehensive review from a deep learning perspective / Zhang S., Bamakan S., Qu Q., Li S. // IEEE Rev. Biomed. Eng. – 2019. – Vol. 12. – P. 194–208. – DOI: 10.1109/RBME.2018.2864254.
17. General pathology student guide: with AMBOSS shortcuts / Claus J., Hanley L. C., Ou J. // Heidelberg: Springer Berlin, 2024. – 151 p. – DOI: 10.1007/978-3-662-67962-3.
18. Artificial intelligence for diabetes management and decision support: literature review / Contreras I., Vehi J. // J. Med. Internet Res. – 2018. – Vol. 20. – № 5. – e10775. – DOI: 10.2196/10775.
19. Artificial intelligence-based image classification methods for diagnosis of skin cancer: challenges and opportunities / Goyal M., Knackstedt T., Yan S., Hassanpour S. // Comput. Biol. Med. – 2020. – Vol. 127. – Article 104065. – DOI: 10.1016/j.compbimed.2020.104065.
20. Epidemiology of melanoma / Saginala K., Barsouk A., Aluru J. S., Rawla P., Barsouk A. // Med. Sci. – 2021. – Vol. 9. – № 4. – Article 63. – DOI: 10.3390/medsci9040063.
21. Skin doctor consultations using mobile teledermoscopy: exploring virtual care business models / Kho J., Gillespie N., Horsham C. et al. // Telemed. J. E Health. – 2020. – Vol. 26. – № 11. – P. 1406–1413. – DOI: 10.1089/tmj.2019.0228.
22. Mobile devices and wearable technology for measuring patient outcomes after surgery: a systematic review / Knight S. R., Ng N., Tsanas A. et al. // NPJ Digit. Med. – 2021. – Vol. 4. – № 1. – Article 157. – DOI: 10.1038/s41746-021-00525-1.
23. Applications of digital health for public health responses to COVID-19: a systematic scoping review of artificial intelligence, telehealth and related technologies / Gunasekeran D. V., Tseng R. M., Tham Y., Wong T. Y. // NPJ Digit. Med. – 2021. – Vol. 4. – № 1. – Article 40. – DOI: 10.1038/s41746-021-00412-9.
24. Generation and evaluation of synthetic patient data / Goncalves A., Ray P., Soper B. et al. // BMC Med. Res. Methodol. – 2020. – Vol. 20. – № 1. – Article 108. – DOI: 10.1186/s12874-020-00977-1.
25. Analyzing medical research results based on synthetic data and their relation to real data results: systematic comparison from five observational studies / Reiner Benaim A., Almog R., Gorelik Y. et al. // JMIR Med. Inform. – 2020. – Vol. 8. – № 2. – e16492. – DOI: 10.2196/16492.
26. Synthetic patient data generation and evaluation in disease prediction using small and imbalanced datasets / Rodriguez-Almeida A. J., Fabelo H., Ortega S. et al. // IEEE J. Biomed. Health Inform. – 2023. – Vol. 27. – № 6. – P. 2670–2680. – DOI: 10.1109/JBHI.2022.3196697.
27. Non-melanoma skin cancer diagnosis: a comparison between dermoscopic and smartphone images by unified visual and sonification deep learning algorithms / Dascalu A., Walker B. N., Orón Y., David E. O. // J. Cancer Res. Clin. Oncol. – 2022. – Vol. 148. – № 9. – P. 2497–2505. – DOI: 10.1007/s00432-021-03809-x.
28. Ethics and governance of artificial intelligence for health // World Health Organization. – Geneva, 2021. – 148 p.

References.

1. Liu, Y. C., Chen, C. H., Lee, C. W., Lin, Y. S., Chen, H. Y., Yeh, J. Y., et al. (2016). Design and usability evaluation of user-centered and visual-based aids for dietary food measurement on mobile devices in a randomized controlled trial. *Journal of Biomedical Informatics*, 64, 122–130. doi: 10.1016/j.jbi.2016.10.001.

2. Liu, Y. C., Wu, S. T., Lin, S. J., Chen, C. H., Lin, Y. S., Chen, H. Y. (2020). Usability of food size aids in mobile dietary reporting apps for young adults: randomized controlled trial. *JMIR mHealth and uHealth*, 8(4), e14543. doi: 10.2196/14543.
3. Liu, Y. C., Chen, C. H., Lin, Y. S., Chen, H. Y., Irianti, D., Jen, T. N., et al. (2020). Design and usability evaluation of mobile voice-added food reporting for elderly people: randomized controlled trial. *JMIR mHealth and uHealth*, 8(9), e20317. doi: 10.2196/20317.
4. Mauch, C. E., Laws, R. A., Prichard, I., Maeder, A. J., Wycherley, T. P., Golley, R. K. (2021). Commercially available apps to support healthy family meals: user testing of app utility, acceptability, and engagement. *JMIR mHealth and uHealth*, 9(5), e22990. doi: 10.2196/22990.
5. Gordon, W. J., Landman, A., Zhang, H., Bates, D. W. (2020). Beyond validation: getting health apps into clinical practice. *npj Digital Medicine*, 3, 14. doi: 10.1038/s41746-019-0212-z.
6. Kosa, S. D., Monize, J., D'Souza, M., Joshi, A., Philip, K., Reza, S., et al. (2018). Nutritional mobile applications for CKD patients: systematic review. *Kidney International Reports*, 4(3), 399–407. doi: 10.1016/j.ekir.2018.11.016.
7. Zhou, L., Bao, J., Setiawan, I. M. A., Saptono, A., Parmanto, B. (2019). The mHealth app usability questionnaire (MAUQ): development and validation study. *JMIR mHealth and uHealth*, 7(4), e11500. doi: 10.2196/11500.
8. Johnson, K. B., Wei, W. Q., Weeraratne, D., Frisse, M. E., Misulis, K., Rhee, K., et al. (2021). Precision medicine, artificial intelligence, and the future of personalized health care. *Clinical and Translational Science*, 14(1), 86–93. doi: 10.1111/cts.12884.
9. Deniz-Garcia, A., Fabelo, H., Rodriguez-Almeida, A. J., Zamora-Zamorano, G., Castro-Fernandez, M., Alberiche Ruano, M. D. P., et al. (2023). Quality, usability, and effectiveness of mHealth apps and the role of artificial intelligence: current scenario and challenges. *Journal of Medical Internet Research*, 25, e44030. doi: 10.2196/44030.
10. Seetharam, K., Kagiya, N., Sengupta, P. P. (2019). Application of mobile health, telemedicine and artificial intelligence to echocardiography. *Echo Research and Practice*, 6(2), R41–R52. doi: 10.1530/ERP-18-0081.
11. Han, S. S., Park, I., Eun Chang, S., Lim, W., Kim, M. S., Park, G. H., et al. (2020). Augmented intelligence dermatology: deep neural networks empower medical professionals in diagnosing skin cancer and predicting treatment options for 134 skin disorders. *Journal of Investigative Dermatology*, 140(9), 1753–1761. doi: 10.1016/j.jid.2020.01.019.
12. Basu, S., Johnson, K. T., Berkowitz, S. A. (2020). Use of machine learning approaches in clinical epidemiological research of diabetes. *Current Diabetes Reports*, 20(12), 80. doi: 10.1007/s11892-020-01353-5.
13. Dagliati, A., Marini, S., Sacchi, L., Cogni, G., Teliti, M., Tibollo, V., et al. (2018). Machine learning methods to predict diabetes complications. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 12(2), 295–302. doi: 10.1177/1932296817706375.
14. Akter, L., Al-Islam, F. (2022). Diabetes mellitus prediction and feature importance score finding using extreme gradient boosting. In: *Proceedings of the International Conference on Emerging Technologies and Intelligent Systems (ICETIS 2021)*. Lecture Notes in Networks and Systems, 322, 643–654. doi: 10.1007/978-3-030-85990-9_52.
15. Li, J., Chen, Q., Hu, X., Yuan, P., Cui, L., Tu, L., et al. (2021). Establishment of noninvasive diabetes risk prediction model based on tongue features and machine learning techniques. *International Journal of Medical Informatics*, 149, 104429. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2021.104429.
16. Zhang, S., Bamakan, S. M. H., Qu, Q., Li, S. (2019). Learning for personalized medicine: a comprehensive review from a deep learning perspective. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 12, 194–208. doi: 10.1109/RBME.2018.2864254.
17. Claus, J., Hanley, L. C., Ou, J. (2024). *General pathology student guide: with AMBOSS shortcuts*. Heidelberg: Springer. doi: 10.1007/978-3-662-67962-3.
18. Contreras, I., Vehi, J. (2018). Artificial intelligence for diabetes management and decision support: literature review. *Journal of Medical Internet Research*, 20(5), e10775. doi: 10.2196/10775.

19. Goyal, M., Knackstedt, T., Yan, S., Hassanpour, S. (2020). Artificial intelligence-based image classification methods for diagnosis of skin cancer: challenges and opportunities. *Computers in Biology and Medicine*, 127, 104065. doi: 10.1016/j.compbio.2020.104065.
20. Saginala, K., Barsouk, A., Aluru, J. S., Rawla, P., Barsouk, A. (2021). Epidemiology of melanoma. *Medical Sciences*, 9(4), 63. doi: 10.3390/medsci9040063.
21. Kho, J., Gillespie, N., Horsham, C., Snoswell, C., Vagenas, D., Soyer, H. P., et al. (2020). Skin doctor consultations using mobile teledermoscopy: exploring virtual care business models. *Telemedicine and e-Health*, 26(11), 1406–1413. doi: 10.1089/tmj.2019.0228.
22. Knight, S. R., Ng, N., Tsanas, A., Mclean, K., Pagliari, C., Harrison, E. M. (2021). Mobile devices and wearable technology for measuring patient outcomes after surgery: a systematic review. *npj Digital Medicine*, 4(1), 157. doi: 10.1038/s41746-021-00525-1.
23. Gunasekeran, D. V., Tseng, R. M. W. W., Tham, Y. C., Wong, T. Y. (2021). Applications of digital health for public health responses to COVID-19: a systematic scoping review of artificial intelligence, telehealth and related technologies. *npj Digital Medicine*, 4(1), 40. doi: 10.1038/s41746-021-00412-9.
24. Goncalves, A., Ray, P., Soper, B., Stevens, J., Coyle, L., Sales, A. P. (2020). Generation and evaluation of synthetic patient data. *BMC Medical Research Methodology*, 20(1), 108. doi: 10.1186/s12874-020-00977-1.
25. Reiner Benaim, A., Almog, R., Gorelik, Y., Hochberg, I., Nassar, L., Mashlach, T., et al. (2020). Analyzing medical research results based on synthetic data and their relation to real data results: systematic comparison from five observational studies. *JMIR Medical Informatics*, 8(2), e16492. doi: 10.2196/16492.
26. Rodriguez-Almeida, A. J., Fabelo, H., Ortega, S., Deniz, A., Balea-Fernandez, F. J., Quevedo, E., et al. (2023). Synthetic patient data generation and evaluation in disease prediction using small and imbalanced datasets. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 27(6), 2670–2680. doi: 10.1109/JBHI.2022.3196697.
27. Dascalu, A., Walker, B. N., Oron, Y., David, E. O. (2022). Non-melanoma skin cancer diagnosis: a comparison between dermoscopic and smartphone images by unified visual and sonification deep learning algorithms. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*, 148(9), 2497–2505. doi: 10.1007/s00432-021-03809-x.
28. World Health Organization. (2021). Ethics and governance of artificial intelligence for health. Geneva: World Health Organization.

ORCID:

O. A. Panchenko: 0000-0001-9673-6685

V. O. Onishchenko: 0000-0002-7044-1747