

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В КЛІНІЧНІЙ ФАРМАКОЛОГІЇ (огляд літератури)

Хайтович М.В. <https://orcid.org/0000-0001-6412-3243>

Турчак Д.В. <https://orcid.org/0000-0001-8799-0817>

Національний медичний університет імені О.О. Богомольця

nik3061@gmail.com

Актуальність. Клінічна фармакологія – наукова дисципліна, яка охоплює всі аспекти взаємодії між лікарськими засобами та людиною.

Ціль: розглянути сучасні дані щодо можливості використання штучного інтелекту (ШІ) для оптимізації наукових досліджень, практичного застосування та освіти з клінічної фармакології.

Матеріали та методи. Аналіз даних, представлених в PubMed, за ключовими словами «clinical pharmacology», «artificial intelligence», «education».

Результати. Встановлено, що ШІ використовується на всіх етапах розробки лікарських засобів від відкриття молекул до реальної клінічної практики. Зокрема ШІ забезпечує прогнозування особливостей фармакокінетики та фармакодинаміки лікарських засобів, потребу в моніторингу терапії, ризик взаємодії лікарських засобів.

Впровадження програм на базі ШІ (наприклад, ChatGPT) в діяльність сучасних клінік дозволяє підвищити точність призначень (до 50%), зменшити повторні госпіталізації (до 58%) і скоротити адміністративні витрати. ШІ моделі дозволяють індивідуалізувати дозу, зокрема для препаратів з вузьким терапевтичним індексом (наприклад, ванкоміцину); визначати дозу із урахуванням фармакогенетичних реакцій; точно ідентифікувати ризик взаємодії лікарських засобів та пропонувати клінічні рішення. В освітній сфері використання ChatGPT дозволяє моделювати клінічні ситуації, пришвидшуючи створення кейсів і тестових завдань (хоча майже 30% згенерованих завдань були непридатні без експертного доопрацювання); сприяє розвитку у студентів клінічного мислення; формує навички прийняття рішень.

Серед проблем використання ШІ в клінічній фармакології крім необхідності експертної оцінки якості даних, мають велике значення питання етики, конфіденційності та подвійного використання технологій (наприклад, ризики розробки біозброї), тому важливо поєднання можливостей ШІ з досвідом фахівців.

Висновки. Штучний інтелект має високий потенціал для організації клінічних випробувань; оптимізації терапевтичних ефектів лікарських засобів, враховуючи ризик фармакогенетичних реакцій та взаємодію лікарських засобів, покращуючи прийняття клінічних рішень та безпеку пацієнтів; навчання з персоналізованого застосування лікарських засобів. Важливо використовувати інструменти ШІ разом із експертною оцінкою фахівців охорони здоров'я, а також належним чином враховувати регуляторні міркування, конфіденційність даних та етичні наслідки.

Ключові слова: клінічна фармакологія, штучний інтелект, освіта.

Актуальність. Ми живемо в технологічному світі, який щороку генерує величезну кількість даних майже в кожній галузі.

Клінічна фармакологія – це наукова дисципліна, яка охоплює всі аспекти взаємодії між лікарськими засобами та людиною [1].

Штучний інтелект (ШІ) – трансформаційна технологія, що використовується в різних промислових секторах, включаючи охорону здоров'я. ШІ досяг великого успіху в останні роки, особливо в галузі машинного навчання та глибокого навчання. Машинне навчання (ML) – це підхід штучного інтелекту, який включає різні методи, що допомагають комп'ютерам навчатися на даних без явного програмування, використовуючи передові статистичні методи, що дозволяє виявляти закономірності та прогнозувати результати у складних сценаріях охорони здоров'я. Найпоширеніші стилі «навчання», що використовуються для цілей охорони здоров'я, включають контрольоване, неконтрольоване та глибоке навчання (DL). Існують інші методи ML, такі як напівконтрольоване навчання (поєднання

контрольованого та неконтрольованого) та навчання з підкріпленням, коли алгоритм діє, як агент в інтерактивному середовищі, який навчається методом спроб і помилок, використовуючи винагороди за власні дії та досвід [2].

ШІ зараз використовується в усьому континуумі (рис.1) фармакологічних досліджень та клінічної практики, від раннього відкриття лікарських засобів до аналізу даних у реальному світі (RWD); від неконтрольованого кластеризування лікарських засобів або пацієнтів, спрямованого на виявлення потенційних лікарських сполук або відповідних груп пацієнтів, до методів контрольованого машинного навчання для покращення терапевтичного лікарського моніторингу [3].

ШІ в клінічній фармакології застосовується для інтелектуального аналізу великої кількості даних; прогностичного моделювання фармакокінетики та фармакодинаміки; прискорення розробки лікарських засобів, оптимізації дизайну дослідження; прогно-

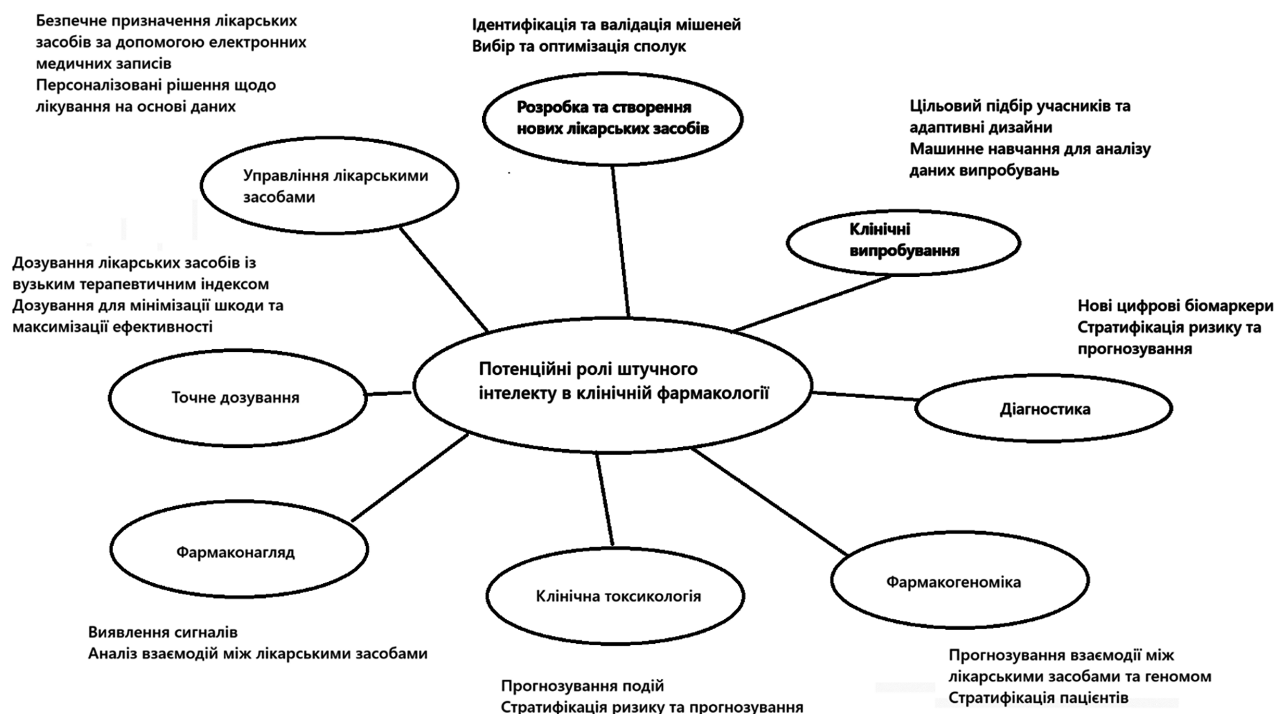


Рис.1. Застосування штучного інтелекту в клінічній фармакології [3]

зування їх безпеки та ефективності на основі генетичних, клінічних та екологічних факторів; обробки природної мови для систематичних оглядів через швидкий літературний скринінг і контроль якості доказів; виявлення лікарських взаємодій; автоматизації фармакологічних скринінгів; персоналізованої фармакотерапії із вибором методів лікування, розробкою цифрових інструментів дозування, які в реальному часі адаптують дозу під пацієнта на основі зміни біомаркерів і стану органів (нирки, печінка) та кластеризації пацієнтів для виділення підгруп із підвищеним/зниженим ризиком побічних ефектів або зміною терапевтичної відповіді [4-8].

Ціль: розглянути сучасні дані щодо використання штучного інтелекту (ШІ) для оптимізації наукових досліджень, практичного застосування та освіти з клінічної фармакології.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Було проведено огляд літератури відповідно до настанов PRISMA 2020 для систематичних оглядів [9]. Інформаційні джерела та стратегія пошуку: систематичний пошук здійснювався у базі даних PubMed до 15 квітня 2025 року. Пошукова стратегія включала комбінацію термінів MeSH та вільного тексту: "clinical pharmacology", "artificial intelligence", "education". Пошук не обмежувався роком публікації, мовою чи типом дослідження. До аналізу були включені первинні оригінальні дослідження, огляди, метааналізи, наративні огляди та кейс-репорти, що описували використання ШІ у клінічній фармакології. Виключалися матеріали без доступу до повного тексту, роботи без рецензування, доповіді з конференцій, редакційні листи, а також ті, що не мали безпосереднього відношення до клінічної фармакології [9].

Застосування штучного інтелекту для розробки лікарських засобів. Найважливішою частиною процесу розробки лікарських засобів є вивчення їх клінічних аспектів. Будь-яка невдача на цьому етапі (на рівні набору пацієнтів чи неефективної системи моніторингу тощо) є значною втратою фінансів та часу [5].

Вважається, що основною проблемою є зв'язок різних рівнів процесу розробки лікарських засобів, який здійснюється на будь-якому окремому рівні, але на різних рівнях та з різними людьми, що ускладнює збір структурованої інформації. Крім того, відомо дуже мало досліджень, які включають великі бази даних з кількома параметрами [10]. Тому, щоб покращити результати цих випробувань, з'явилися технології, засновані на ШІ та ML, які дозволяють краще та точніше прогнозувати результати дослідження ще на рівні його проектування і аж до виконання випробувань. Деякі моделі на основі DL вимірюють результати клінічних випробувань на різних фазах [5].

Масштабні або деталізовані дані можна отримати з джерел RWD майже в режимі реального часу, і цю інформацію можна використовувати для підтримки різноманітних дизайнів клінічних випробувань, таких як обсерваційні дослідження, прагматичні клінічні випробування, масштабні випробування та рандомізовані клінічні дослідження. Записані дані можна розділити на дві категорії: неструктуровані (такі як медичні довідки) та структуровані (такі як коди Міжнародної класифікації хвороб, результати лабораторних досліджень та рецепти). Однак, для отримання високоякісних даних, придатних для використання в регуляторних органах та інших сферах прийняття рішень, необхідно зібрати їх значну кількість та перетворити їх у формат, придатний для аналізу, з певним рівнем точності та надійності. Це виходить за межі можливостей лише людей. Отже, вивчення RWD все частіше проводиться із використанням ШІ [10].

ШІ також використовується для оцінки результатів фармакокінетичних досліджень, оптимізації режимів дозування та передбачення можливих лікарських взаємодій [11].

Застосування штучного інтелекту для оптимізації режиму дозування лікарських засобів. Більшість небажаних реакцій на лікарські засоби можна передбачити за допомогою прогнозів, пов'язаних з токсичністю, під час оцінки фармакокінетичних параметрів, але деякі з них ще потрібно прогнозувати за допомогою моделей ШІ на

основі відгуків пацієнтів та фізіологічних даних. Відомо, що при застосуванні лікарських засобів із вузьким терапевтичним індексом (наприклад, ванкоміцину) застосовується терапевтичний лікарський моніторинг (TDM) щоб індивідуалізувати дозу [3], що часто є недоступним. Методи штучного інтелекту можуть підтримувати фармакокінетичні та фармакодинамічні аналізи для визначення дозового режиму лікарських засобів. Наприклад, для персоналізації режимів дозування ванкоміцину з використанням даних з електронних медичних записів застосовують модель на основі дерева рішень, і подібні методи були запропоновані для інших препаратів з вузьким терапевтичним індексом. У великому багатоцентровому дослідженні було розроблено інструмент навчання з підкріпленням, щоб визначити дозу еритропоєтину для пацієнтів, які перебувають на гемодіалізі, з метою покращення рівня гемоглобіну при мінімізації загальної дози еритропоєтину [12].

Останнім часом через поширення коморбідних станів, все частіше застосовується терапія кількома лікарськими засобами, але при цьому деякі лікарські засоби (наприклад, протисудомні) можуть пришвидшити метаболізм і інактивувати деякі із решти лікарських засобів (наприклад, бета-блокатори), що впливає на їх ефективність. Деякі лікарські засоби (наприклад, макролідні антибіотики) можуть уповільнити метаболізм інших лікарських речовин (наприклад, статинів), спричиняючи їх токсичність та додаткові ускладнення. Таким чином, прогнозування лікарських взаємодій стає дедалі важливішим. Зі зростанням кількості баз даних, пов'язаних із взаємодією лікарських засобів, було запропоновано багато моделей ML та нейронних мереж для її прогнозування [5].

Так, ChatGPT 4.0 точно вирішив 39 з 39 (100%) проблем із взаємодією лікарських засобів у пацієнтів. При цьому ChatGPT успішно визначив ризик лікарських взаємодій, надав рекомендації щодо терапії та сформулював загальні плани лікування, хоча не рекомендував конкретні дозові режими [13].

Також III можна використати для дозування лікарських засобів із високим ризиком фармакогенетичної реакції. Фармакогенетика в основному зосереджена на поясненні фармакокінетичним шляхом впливу генетичних поліморфізмів генів, що кодують ферменти метаболізму лікарських засобів. Величезна кількість генетичних варіантів та складність активності ферментів, яка є безперервною, а не категоріальною змінною, унеможливають розробку базових моделей прогнозування без допомоги III. Гарним прикладом фармакогена, є ген CYP2D6, результуючий фермент якого відповідає за метаболізм 25–30% лікарських засобів, що часто призначаються (антидепресантів, антипсихотиків, бета-блокаторів, опіоїдів тощо). Через складність CYP2D6 та велику кількість поліморфізмів даного гену все ще важко точно передбачити активність ферментів. Перевагою підходів на основі нейронних мереж у фармакогенетиці є те, що ці моделі здатні виявляти закономірності у вхідних даних, які виходять за межі людських можливостей. Так, модель нейронної мережі досягла точнішого прогнозування метаболізму тамоксифену, опосередкованого CYP2D6, у пацієток з раком молочної залози, порівняно з традиційними методами [12]. Застосовуючи III для розпізнавання патернів активності, можна досягти вищої точності у лікуванні [3].

Нами було поставлено перед ChatGPT 4.0 завдання запропонувати режим дозування антидепресанта пароксетину пацієнту, віком 34 роки, масою тіла 72 кг, який страждає на панічні атаки; згідно фармакогенетичного тесту у пацієнта повільний метаболізм за CYP2D6, лікарських засобів не вживає, не курить.

Програма ChatGPT зазначила: призначення пароксетину потребує обережного підходу. Пароксетин метаболізується переважно CYP2D6, і у повільних метаболізаторів зростає його системна експозиція, що підвищує ризик побічних ефектів, особливо у перші тижні терапії.

Рекомендації щодо дозування:

- Початкова доза: 5 мг на добу (1/4 таблетки 20 мг) протягом 1 тижня — для зниження

ризикую побічних ефектів, зокрема тривожності, безсоння, нудоти, сексуальної дисфункції.

- Через 7 днів: 10 мг/добу — за умови хорошої переносимості (у повільних метаболізаторів ця доза відповідає вищій плазмовій концентрації, ніж у типових метаболізаторів).
- Таргетна доза для панічних розладів: 10–20 мг/добу, залежно від клінічного ефекту та переносимості.
- Підвищення дози до 20 мг слід здійснювати обережно, не раніше ніж через 2 тижні терапії дозою 10 мг.
- Максимальна рекомендована доза для повільних метаболізаторів CYP2D6: 20 мг/добу — перевищення цієї дози не рекомендоване, оскільки зростає ризик накопичення і побічних реакцій без додаткової ефективності.

Ключові зауваження:

- Моніторинг: контроль стану щонайменше 1 раз на тиждень у перші 4 тижні.
- Побічні реакції: стежити за проявами гіперактивності ЦНС, гіпонатріємії, сексуальних дисфункцій.
- Альтернатива: за потреби розглянути препарати, що не метаболізуються CYP2D6 (наприклад, есциталопрам або сертралін у знижених дозах).

Ентузіазм щодо застосування ШІ для персоналізованої медицини в онкології базується на історіях успіху цільового лікування різних видів раку на основі їх молекулярних профілів [14].

Використання штучного інтелекту в фармацевтичній практиці

У фармацевтичній практиці ШІ має потенціал для значного покращення медикаментозної терапії та догляду за пацієнтами. Використовуючи алгоритми ШІ та машинне навчання, фармацевти можуть аналізувати великий обсяг даних пацієнтів, включаючи медичні записи, результати лабораторних досліджень та профілі лікарських засобів, це допомагає виявляти потенційні лікарські взаємодії, оцінювати

безпеку та ефективність ліків, а також надавати обґрунтовані рекомендації, адаптовані до індивідуальних потреб пацієнта [15].

Штучний інтелект (ШІ) став революційним засобом оптимізації практики фармацевтів, його застосування суттєво покращило призначення лікарських засобів, стало підтримкою зростаючої галузі прецизійної медицини [16].

Однак, зазначено, що під час впровадження ШІ в галузі охорони здоров'я необхідно належним чином враховувати регуляторні міркування, конфіденційність даних та етичні наслідки [17].

Для пацієнтів ШІ може бути корисним інструментом для надання рекомендацій щодо того, як і коли приймати ліки, сприяння навчанню пацієнтів та сприяння дотриманню режиму прийому лікарських засобів. ШІ може бути використаний, щоб знати, як і де отримати найефективнішу медичну допомогу та як найкраще спілкуватися з медичними працівниками, оптимізувати моніторинг здоров'я за допомогою переносних пристроїв, надавати щоденні рекомендації щодо способу життя та здоров'я, а також інтегрувати дієту та фізичні вправи [15].

Ефективність впровадження штучного інтелекту в діяльність закладів охорони здоров'я

Впровадження ШІ в діяльність сучасних клінік сприяло підвищенню на 50% точності вибору лікарських засобів в схемі лікування пацієнтів. Це було особливо важливо при зміні пацієнтами виду медичної допомоги (амбулаторна чи госпітальна), коли переглядаються схеми медикаментозного лікування. Відмічено зменшення на 40% часу, що витрачається на узгодження схеми фармакотерапії, відповідно – зниження адміністративного навантаження на медичний персонал. Це дозволило лікарям зосередитися на більш важливих елементах догляду за пацієнтами, підвищуючи загальну ефективність та продуктивність. Підхід на основі ШІ призвів до 58% зменшення кількості повторних госпіталізацій, пов'язаних

з лікарськими засобами, пом'якшив фармацевтичні помилки та розбіжності, покращуючи результати лікування пацієнтів та знижуючи витрати на охорону здоров'я (таблиця) [2,15].

В медичному центрі Каліфорнійського університету Сан-Франциско разом з клінічними фармацевтами розроблено систему ШІ для запобігання небажаним реакціям на лікарські засоби (ADE). Моніторинг цієї системи в режимі реального часу включав аналіз демографічних даних пацієнта, лабораторних показників та призначень лікарських засобів для виявлення потенційних небажаних реакцій та лікарських взаємодій до їх виникнення [2]. Протягом дворічного періоду після впровадження кількість передбачуваних небажаних реакцій зменшилася на 40%. За словами клінічних фармацевтів, здатність системи обробляти величезні обсяги даних пацієнтів та надавати дієві сповіщення значно покращила їхні можливості прийняття рішень та дозволила зосередитися на складніших клінічних втручаннях [2].

Клініка Майо впровадила систему управління медикаментозною терапією на базі ШІ, щоб допомогти клінічним фармацевтам у лікуванні пацієнтів з численними хронічними захворюваннями [15]. Система аналізує історію хвороби пацієнтів, лікарські засоби, що приймаються, та клінічні настанови, щоб надавати комплексні рекомендації щодо медикаментозної терапії. Після впровадження програми показники дотримання режиму прийому лікарських засобів у клініці покращилися на 28%, а кількість візитів до відділень невідкладної допомоги, пов'язаних з прийомом лікарських засобів, зменшилася на 35% [15]. Клінічні фармацевти повідомляли, що здатність системи обробляти складні схеми фармакотерапії та виявляти можливі терапевтичні дублювання значно покращила якість їхніх послуг з управління медикаментозною терапією [15].

ШІ може покращити процес прийняття рішень у відділенні інтенсивної терапії, доповнюючи традиційні фармакологічні підходи [18]. Зокрема ШІ усуває проблеми

обробки величезного обсягу клінічних даних. При цьому його застосування варіюється від персоналізованого дозування та прогнозу аналітики до оптимізації клінічних випробувань та навчання. ШІ може покращити підтримку клінічних рішень шляхом інтеграції клінічних даних у режимі реального часу з дослідженнями та рекомендаціями найбільш оптимальних методів лікування.

ШІ враховує різноманітні фактори, включаючи масу тіла, вік, функцію нирок та конкретні обставини пацієнта, щоб рекомендувати дозування, що максимізує ефективність, одночасно зменшуючи ризик побічних ефектів. Так, модель ML може прогнозувати резистентність до карбапенемів у режимі реального часу, що сприяє вибору антибіотиків [18].

Здатність ШІ витягувати неструктуровані дані з електронних медичних карток пропонує додатковий потенціал для покращення ефективності прийняття рішень, при цьому ШІ може передбачати динамічні зміни у критично хворих пацієнтів, підтримуючи фармакологічні втручання. Крім того, ШІ дозволяє покращити фармаконагляд у відділенні інтенсивної терапії шляхом постійного моніторингу реакцій пацієнтів на лікарські засоби та виявлення ранніх ознак побічних реакцій. Використовуючи систему на основі ML досягали зменшення помилок у лікуванні у відділеннях інтенсивної терапії новонароджених з високим ризиком клінічно значущої лікарської взаємодії [18].

Розвиток клінічного мислення студентів при використанні ШІ в курсі клінічної фармакології

Інструменти ШІ відкрили нові шляхи для переосмислення меж ролей викладачів та студентів і мають потенціал впливати на процес навчання.

ChatGPT виділив такі переваги ШІ у розвитку клінічного мислення студентів при вивченні клінічної фармакології:

1. Поглиблення фармакологічного аналізу в клінічному контексті:
 - Інтеграція знань про фармакокінетику,

Таблиця

Основні результати та ефективність витрат у закладах охорони здоров'я після впровадження в їх діяльність методології штучного інтелекту та машинного навчання [2,15]

Заклад	Застосування ШІ	Основні результати	Економія коштів
Клініка Клівленду	Управління медикаментозною терапією	Зменшення на 42% кількості повторних госпіталізацій, покращення на 35% прихильності до лікування, збільшення на 58% виявлення лікарських взаємодій	2,8 млн щорічно
Клініка Мейо	Адміністрування антимікробних препаратів	Зменшення на 45% непотрібних призначень, на 30% <i>C. difficile</i> , на 25% антибіотикорезистентності	Не повідомлено
Валгрінс	Система взаємодії з пацієнтами	Зростання на 40% прихильності до лікування, збільшення на 62% задоволення пацієнтів результатами лікування, зменшення на 55% пропущених рецептів,	3,2 млн щорічно
Сінгапурська загальна лікарня	Автоматизована аптечна система	Зменшення на 75% помилок видачі лікарських засобів, на 60% швидше приготування, зростання на 45% продуктивності персоналу	1,5 млн щорічно
Джон Хопкінс	Прогнозування небажаних реакцій (НР)	Виявлення краще на 65% НР, менше на 48% побічних ефектів, менше на 35% візитів у відділення невідкладної допомоги	4,2 млн щорічно
NHS (Велика Британія)	Управління запасами	Менше на 55% відсутніх препаратів, зниження на 40% витрат на зберігання, покращення на 70% оборотності	2,3 млн щорічно
Меморіальний Слоан Катерінг	Підтримка прийняття рішень в онкології	Менше на 80% помилок у приготуванні, покращення на 45% робочого процесу, на 50% швидша перевірка	Не повідомлено
Австралійська фармацевтична мережа	Система триажу	Зменшення на 50% часу очікування, на 65% кращі направлення, на 40% збільшення використання послуг	Не повідомлено
Бостонська дитяча лікарня	Призначення педіатричних препаратів	Менше на 70% помилок дозування, на 55% краще коригування доз, на 45% менше побічних ефектів	Не повідомлено
Медичний центр UCFS	Медикаментозне узгодження	На 65% менше розбіжностей, на 50% покращення точності, на 40% зменшення часу	Не повідомлено

фармакодинаміку, взаємодію лікарських засобів;

- Виявлення прихованих ризиків (наприклад, інгібування СYP-ферментів, подвоєння механізмів дії, фармакогенетичні реакції)
 - Сприяє формуванню патогенетично обґрунтованих схем лікування
2. Симуляція клінічних сценаріїв
- ШІ здатен моделювати клінічні кейси, які вимагають логічного аналізу, ранжування ризиків, вибору тактики
 - Розвиває набуті навички прийняття рішень шляхом "розбору помилок" і альтернатив
3. Оцінка та обґрунтування взаємодії лікарських засобів
- Миттєвий аналіз взаємодії лікарських засобів, включаючи рідкісні та метаболічно опосередковані
 - Прогнозування клінічних наслідків (міопатія, гіпоглікемія, гіперкаліємія тощо)
4. Підтримка доказової практики
- ШІ має доступ до нових гайдлайнів, метааналізів, баз даних, що дозволяє обґрунтовувати вибір лікарських засобів.
 - Формує здатність мислити критично, не лише запам'ятовувати дозування
5. Навчання на персоналізованих прикладах
- ШІ адаптується до рівня знань користувача, формує клінічне мислення від базового до експертного
 - ШІ сприяє самостійному пошуку рішень з подальшим розбором логіки вибору
6. Безпечне середовище для навчання
- Можна "пробувати" різні схеми терапії без шкоди пацієнтам
 - Помилки стають інструментом розвитку, а не джерелом ризику

Важливим напрямом оптимізації навчання з клінічної фармакології є використання ШІ для створення клінічних кейсів. Так, описано приклад створення промту [16] для ChatGPT, на основі якого, використовуючи певні підказки, автори послідовно генерували випадки для різних завдань, створюючи набори по 30 випадків за раз. Включення

обов'язкових перевірок та форматування дозволяло завершувати процес приблизно за 60 хвилин на набір. Зазначено, що цей підхід не лише значно пришвидшив створення кейсів, а й покращив їх різноманітність [19].

Досліджено можливості трьох генеративних інструментів ШІ покращити засвоєння теми медикаментозного лікування артеріальної гіпертензії, зокрема через забезпечення конкретних результатів навчання (SLO); створення тестових завдань множинного вибору та клінічних кейсів; встановлення параметрів стандарту для тестування студентів-медиків. Аналіз результатів, згенерованих ШІ, показав глибоку гомологію, але розбіжність у якості та чутливості до уточнення пошукових запитів. Конкретні результати навчання визначили ключові області антигіпертензивної фармакології та терапії. Тестові завдання часто мали клінічні віньєтки, узгоджені з ключовою областю, зазначеною в пошукових запитах. ChatGPT генерував пояснення до тестових завдань, що підвищувало їх корисність для підтримки самостійного навчання студентів. Інтегровані завдання клінічних кейсів мали зосереджені віньєтки з описом клінічних випадків, інтеграцію між дисциплінами та були спрямовані на вищі рівні компетенцій. Доведено, що інструменти ШІ є корисним доповненням для планування методів навчання, визначення тем для розробки тестових завдань, створення тестових завдань та керівництва встановленням стандартів тестів, що відповідають етапу навчання студента згідно програми. Однак, експертам необхідно перевірити змістовну валідність результатів, так було відмічено, що деякі тестові завдання, пов'язані з питаннями з множинним вибором типу А, мали дефекти конструкції, кілька правильних відповідей та сумнівну відповідність етапу навчання студентів [20].

Ще в одному дослідженні вивчали якість, підготовлених різними інструментами ШІ навчальних завдань з клінічної фармакології. Не було виявлено статистично значущих відмінностей між питаннями, згенерованими ШІ, та питаннями, створеними експертами, при

цьому середній рівень правильних відповідей перевищував 50%, а індекси дискримінації дорівнювали або перевищували 0,20. ШІ Claude створив найбільшу частку безпомилкових елементів (12/20), тоді як ChatGPT показав найменшу кількість непридатних для використання елементів (5/20). Експертні перевірки вимагали приблизно однієї хвилини на кожне питання, згенероване ШІ, що являє собою суттєве підвищення ефективності порівняно з ручною підготовкою питань. Тим не менш, 19 з 60 питань, згенерованих ШІ, були визнані непридатними для використання, що підкреслює необхідність експертного нагляду [21].

Проблемні питання широкого впровадження штучного інтелекту

Незважаючи на значні успіхи практичного використання ШІ, проблеми залишаються, особливо щодо якості даних, валідації, довіри та регуляторних питань. Важливо оцінювати реальний клінічний вплив моделей ШІ, щоб покращити лікування пацієнтів [22], а щоб повністю реалізувати потенціал ШІ, необхідний спільний підхід, коли ШІ доповнює, а не замінює роль клініцистів та фармацевтів [18].

Інтеграція ШІ у клінічну фармакологію викликає також значні етичні та безпекові міркування. Ризик подвійного використання ШІ (зокрема, розробки біологічної зброї) вимагає чіткого регулювання, а також прийняття стратегічного підходу, заснованого на технічних рішеннях та етичних цінностях, що відповідає принципам прозорості, підзвітності та безпеки. Крім того, важлива потенційна роль ШІ в розробці контрзаходів проти нових небезпечних речовин. Завдяки застосуванню проактивного підходу можна повністю використати потенційні переваги ШІ, мінімізуючи пов'язані з цим ризики [23].

ВИСНОВКИ

1. ШІ є важливим інструментом для організації клінічних випробувань лікарських засобів, дозволяючи краще та

точніше спрогнозувати його результати ще на рівні проектування і аж до виконання випробувань.

2. ШІ продемонстрував високий потенціал застосування у практиці клінічної фармакології, в режимі реального часу ШІ надає рекомендації щодо дозування лікарських засобів, враховуючи ризик фармакогенетичних реакцій та взаємодії лікарських засобів, прогножуючи терапевтичні ефекти, побічні реакції. Це покращує прийняття клінічних рішень та безпеку пацієнтів при умові критичної оцінки отриманих даних фахівцями охорони здоров'я.
3. В освітньому процесі ШІ допомагає створювати клінічні кейси з клінічної фармакології, покращуючи їх різноманітність та розвиваючи клінічне мислення студентів, але при умові експертного нагляду викладача.
4. При впровадженні ШІ в галузі охорони здоров'я і освітньому процесі необхідно належним чином враховувати регуляторні міркування, конфіденційність даних та етичні наслідки.

REFERENCES

1. Council for the International Organizations of Medical Sciences. Clinical Pharmacology in health care, teaching and research. Geneva: CIOMS; 2012. Available on: https://cioms.ch/wp-content/uploads/2017/01/Clinical_Pharmacology_in_Health_Care_Teaching_and_Research_.pdf
2. Graham S, Depp C, Lee EE, Nebeker C, Tu X, Kim HC, Jeste DV. Artificial Intelligence for Mental Health and Mental Illnesses: an Overview. *Curr Psychiatry Rep.* 2019 Nov 7;21(11):116. DOI: 10.1007/s11920-019-1094-0. PMID: 31701320; PMCID: PMC7274446.
3. van der Lee M, Swen JJ. Artificial intelligence in pharmacology research and practice. *Clin Transl Sci.* 2023 Jan;16(1):31-36. DOI: 10.1111/cts.13431. Epub 2022 Oct 17. PMID: 36181380; PMCID: PMC9841296.
4. Singh H, Nim DK, Randhawa AS, Ahluwalia S.

- Integrating clinical pharmacology and artificial intelligence: potential benefits, challenges, and role of clinical pharmacologists. *Expert Rev Clin Pharmacol*. 2024 Apr;17(4):381-391. DOI: 10.1080/17512433.2024.2317963. Epub 2024 Feb 15. PMID: 38340012.
5. Kumar M, Nguyen TPN, Kaur J, Singh TG, Soni D, Singh R, Kumar P. Opportunities and challenges in application of artificial intelligence in pharmacology. *Pharmacol Rep*. 2023 Feb;75(1):3-18. DOI: 10.1007/s43440-022-00445-1. Epub 2023 Jan 9. PMID: 36624355; PMCID: PMC9838466.
6. Li B, Tan K, Lao AR, Wang H, Zheng H, Zhang L. A comprehensive review of artificial intelligence for pharmacology research. *Front Genet*. 2024 Sep 3;15:1450529. DOI: 10.3389/fgene.2024.1450529. PMID: 39290983; PMCID: PMC11405247.
7. Jang IJ. Artificial intelligence in drug development: clinical pharmacologist perspective. *Transl Clin Pharmacol*. 2019 Sep;27(3):87-88. DOI: 10.12793/tcp.2019.27.3.87. Epub 2019 Sep 30. PMID: 32055587.
8. Liu Q, Joshi A, Standing JF, van der Graaf PH. Artificial Intelligence/Machine Learning: The New Frontier of Clinical Pharmacology and Precision Medicine. *Clin Pharmacol Ther*. 2024 Apr;115(4):637-642. DOI: 10.1002/cpt.3198. PMID: 38505955.
9. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021 Mar 29;372:n71. DOI: 10.1136/bmj.n71. PMID: 33782057.
10. Patil J, Kothawade P, Shaikh MRN, Gite S, Jadhav T, Vakil D, Bagale K. Artificial Intelligence in Preclinical and Clinical Pharmacology. *Int J Pharm Sci*. 2025;3(3):2034-2043. DOI: 10.5281/zenodo.15062755.
11. Ghayoor A, Kohan HG. Revolutionizing pharmacokinetics: the dawn of AI-powered analysis. *J Pharm Pharm Sci*. 2024 Feb 16;27:12671. DOI: 10.3389/jpps.2024.12671. PMID: 38433887; PMCID: PMC10906815.
12. Ryan DK, Maclean RH, Balston A, Scourfield A, Shah AD, Ross J. Artificial intelligence and machine learning for clinical pharmacology. *Br J Clin Pharmacol*. 2024 Mar;90(3):629-639. DOI: 10.1111/bcp.15930. Epub 2023 Nov 12. PMID: 37845024.
13. Roosan D, Padua P, Khan R, Khan H, Verzosa C, Wu Y. Effectiveness of ChatGPT in clinical pharmacy and the role of artificial intelligence in medication therapy management. *J Am Pharm Assoc (2003)*. 2024 Mar-Apr;64(2):422-428.e8. DOI: 10.1016/j.japh.2023.11.023. Epub 2023 Dec 2. PMID: 38049066.
14. McGowan ML, Settersten RA Jr, Juengst ET, Fishman JR. Integrating genomics into clinical oncology: ethical and social challenges from proponents of personalized medicine. *Urol Oncol*. 2014 Feb;32(2):187-192. DOI: 10.1016/j.urolonc.2013.10.009. PMID: 24445286; PMCID: PMC3900115.
15. Chalasani SH, Syed J, Ramesh M, Patil V, Pramod Kumar TM. Artificial intelligence in the field of pharmacy practice: A literature review. *Explor Res Clin Soc Pharm*. 2023 Oct 21;12:100346. DOI: 10.1016/j.rcsop.2023.100346. PMID: 37885437; PMCID: PMC10598710.
16. Alanazi ANJ, et al. The use of artificial intelligence in clinical pharmacy: current applications and future prospects: a review article. *Int J Med Dev Ctries*. 2024;8(12):3827-3832. DOI: 10.24911/IJMDC.51-1734812347.
17. Kleebayoon A, Wiwanitkit V. Ethics for artificial intelligence use in clinical pharmacology. *Indian J Pharmacol*. 2024 May 1;56(3):224-225. DOI: 10.4103/ijp.ijp_729_23. Epub 2024 Jul 5. PMID: 39078188; PMCID: PMC11286100.
18. Gijsen M, De Waele JJ. Does artificial intelligence close gaps in clinical pharmacology in the ICU? *Intensive Care Med*. 2025 Feb;51(2):385-388. DOI: 10.1007/s00134-024-07751-7. Epub 2024 Dec 17. PMID: 39688701.
19. Bakkum MJ, Hartjes MG, Piët JD, Donker EM, Likic R, Sanz E, de Ponti F, Verdonk P, Richir MC, van Agtmael MA, Tichelaar J. Using artificial intelligence to create diverse and inclusive medical case vignettes for education. *Br J Clin Pharmacol*. 2024 Mar;90(3):640-648. DOI: 10.1111/bcp.15977. Epub 2024 Jan 6. PMID: 38016816.
20. Sridharan K, Sequeira RP. Artificial intelligence

- gence and medical education: application in classroom instruction and student assessment using a pharmacology & therapeutics case study. *BMC Med Educ.* 2024 Apr 22;24(1):431. DOI: 10.1186/s12909-024-05365-7. PMID: 38649959; PMCID: PMC11034110.
21. Güvel MC, Kiyak YS, Varan HD, Sezenöz B, Coşkun Ö, Uluoğlu C. Generative AI vs. human expertise: a comparative analysis of case-based rational pharmacotherapy question generation. *Eur J Clin Pharmacol.* 2025 Apr 9. DOI: 10.1007/s00228-025-03838-2. Epub ahead of print. PMID: 40205076.
22. Hippensteele A. Exploring the Expansive Role of AI in Clinical Pharmacy: Insights From ASHP Pharmacy Futures 2024. Available on: <https://www.pharmacytimes.com/view/exploring-the-expansive-role-of-ai-in-clinical-pharmacy-insights-from-ashp-pharmacy-futures-2024>
23. Rubinic I, Kurtov M, Rubinic I, Likic R, Dargan PI, Wood DM. Artificial intelligence in clinical pharmacology: A case study and scoping review of large language models and bio-weapon potential. *Br J Clin Pharmacol.* 2024 Mar;90(3):620-628. DOI: 10.1111/bcp.15899. Epub 2023 Sep 24. PMID: 37658550.

Article history:
Received: 14.04.2025
Revision requested: 18.04.2025
Revision received: 06.05.2025
Accepted: 25.06.2025
Published: 30.06.2025

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CLINICAL PHARMACOLOGY (LITERATURE REVIEW)

M. V. Khaitovych, D. V. Turchak

Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

nik3061@gmail.com

Background. Clinical pharmacology is a scientific discipline that covers all aspects of the interaction between drugs and humans.

Aim: to review current data on the possibility of using artificial intelligence (AI) to optimize scientific research, practical application and education in clinical pharmacology.

Materials and methods. Analysis of data presented in PubMed, using the keywords "clinical pharmacology", "artificial intelligence".

Results. It was found that AI is used at all stages of drug development from molecule discovery to real clinical practice. In particular, AI provides prediction of the pharmacokinetics and pharmacodynamics of drugs, the need for monitoring therapy, and the risk of drug interactions.

The introduction of AI-based programs (for example, ChatGPT) into the activities of modern clinics allows to increase the accuracy of prescriptions (up to 50%), reduce repeat hospitalizations (up to 58%) and reduce administrative costs. AI models allow to individualize the dose, in particular for drugs with a narrow therapeutic index (for example, vancomycin); determine the dose taking into account pharmacogenetic reactions; accurately identify the risk of drug interactions and offer clinical solutions. In the educational sphere, the use of ChatGPT allows to simulate clinical situations, accelerating the creation of cases and test tasks (although almost 30% of the generated tasks were unsuitable without expert revision); promotes the development of clinical thinking in students; forms decision-making skills.

Among the problems of using AI in clinical pharmacology, in addition to the need for expert assessment of data quality, issues of ethics, confidentiality and dual use of technologies (for example, the risks of developing bioweapons) are of great importance, therefore it is important to combine the capabilities of AI with the experience of specialists.

Conclusion. Artificial intelligence has great potential for organizing clinical trials; optimizing the therapeutic effects of drugs, taking into account the risk of pharmacogenetic reactions and drug interactions, improving clinical decision-making and patient safety; and learning personalized drug use. It is important to use AI tools in conjunction with expert judgment from healthcare professionals, and to properly consider regulatory considerations, data privacy, and ethical implications.

Keywords: clinical pharmacology, artificial intelligence, education.