

Інформаційне право

УДК 614.2/616-091:349

DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.17838945>

**Теоретичні питання правового регулювання та перспективи
використання штучного інтелекту в Україні при проведенні медичних
досліджень**

Саїнчин Олександр Сергійович,

Доктор юридичних наук, професор кафедри кримінології,
Навчально-науковий інститут права та психології,
Національна академія МВС, м. Київ, Україна,
<https://orcid.org/0000-0003-0243-7524>

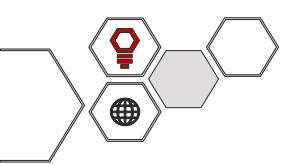
Роша Лариса Григорівна,

Доктор медичних наук, професор,
Керівник Центру патологічної анатомії та цитоморфології,
Клінічна лікарня «Феофанія» Державного управління справами,
Київ, Україна, <https://orcid.org/0000-0002-1027-1467>

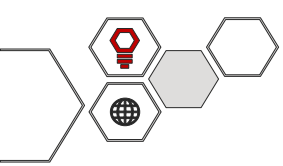
Гринько Дмитро Юрійович,

Начальник відділу, Державне бюро розслідувань України
м. Київ, Україна, <https://orcid.org/0009-0006-2063-0028>

Прийнято: 13.11.2025 | Оpubліковано: 30.11.2025



Анотація. Технології штучного інтелекту присутні як у повсякденному, так і професійному житті, знаходять застосування в різних сферах, але на даний момент в чинному законодавстві України немає чіткого правового визначення та правового регулювання, відповідальність за використання штучного інтелекту не має нормативного закріплення. Наразі в Україні регулювання комп'ютерної програми прирівнюється до літературного твору, тому рекомендується правове регулювання штучного інтелекту з точки зору норм цивільного права України. Немає чіткого шляху впровадження та інтеграції генеративного штучного інтелекту в наданні медичних послуг. Метою дослідження було порівняння зарубіжних та вітчизняних засад правового регулювання застосування штучного інтелекту, дослідження ефективності застосування та перспективи подальшого впровадження штучного інтелекту у медичних (патогістологічних) дослідженнях шляхом аналізу сучасних наукових публікацій. Пошук проводився у пошуковій системі Google (<https://www.google.com.ua/>), базі даних Національної медичної бібліотеки США (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>), базі даних PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>), платформа медичної літератури ScienceDirect (<https://sciencedirect.com/>) та Elsevier (<https://www.elsevier.com/>). Всього опрацьовано 115 публікацій, з них відібрано 69, що стосуються історичних та правових аспектів використання штучного інтелекту, дослідження щодо результатів впровадження цифрової патології, штучного інтелекту у патології та цитоморфології. Патологія покладається на розпізнавання мікроскопічних морфологічних особливостей, аналіз зображень відіграє вирішальну роль, дозволяючи ідентифікувати, категоризувати та охарактеризувати типи тканин, клітин та їх зміни. Традиційні методи патології вимагають багато часу та чутливі до варіабельності між спостерігачами. Оцифровка патогістологічних зображень шляхом об'єктивних і ефективних методів комп'ютерного

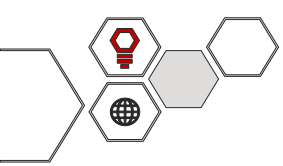


аналізу надала додаткові інструменти для швидшої, якіснішої та точної діагностики. Доведено ефективне використання штучного інтелекту в діагностиці окремих новоутворень, оцінці молекулярного підтипу раку молочної залози, цитологічному дослідженні сечі відповідно до Паризької системи, визначенні балів за Глісоном раку простати, оцінці експресії PD-L1 в пухлинах, при цьому нівелюється проблема мінливості оцінок патологів. Штучний інтелект може компенсувати нестачу персоналу, знизити навантаження лікаря, запобігати вигоранню. Залишається питанням, як штучний інтелект допоможе зі складною гістоморфологічною диференційною діагностикою в майбутньому та як вирішити вплив нерепрезентативних навчальних даних, проблеми конфіденційності даних, крихкість роботи алгоритму та зменшити частоту помилок. Дослідники наголошують на незамінній ролі експертів-людей у синтезі зображень, клінічних даних і досвіду для складних завдань гістопатологічної діагностики.

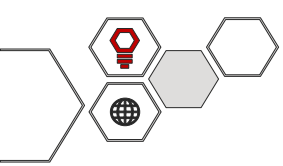
Ключові слова: штучний інтелект, медичні дослідження, патологогістологічні дослідження.

Theoretical issues of legal regulation and prospects for the use of artificial intelligence in Ukraine in conducting medical research

Abstract. Artificial intelligence technologies are present in both everyday and professional life, are used in various areas, but at the moment there is no clear legal definition and legal regulation in the current legislation of Ukraine, responsibility for the use of artificial intelligence is not regulated. Currently, in Ukraine, the regulation of a computer program is equated with a literary work, therefore, legal regulation of artificial intelligence is recommended from the point of view of the norms of civil law of Ukraine. There is no clear path for the implementation and integration of generative artificial intelligence in the provision



of medical services. The purpose of the study was to compare foreign and domestic principles of legal regulation of the use of artificial intelligence, to study the effectiveness of the use and prospects for further implementation of artificial intelligence in medical (pathohistological) research by analyzing modern scientific publications. The search was conducted in the Google search engine (<https://www.google.com.ua/>), the US National Library of Medicine database (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>), the PubMed database (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>), the ScienceDirect medical literature platform (<https://sciencedirect.com/>) and Elsevier (<https://www.elsevier.com/>). A total of 115 publications were reviewed, of which 69 were selected, relating to the historical and legal aspects of the use of artificial intelligence, research on the results of the implementation of digital pathology, artificial intelligence in pathology and cytomorphology. Pathology relies on the recognition of microscopic morphological features, image analysis plays a crucial role, allowing the identification, categorization and characterization of tissue types, cells and their changes. Traditional methods of pathology are time-consuming and sensitive to inter-observer variability. Digitization of pathohistological images through objective and effective computer analysis methods has provided additional tools for faster, better and more accurate diagnosis. The effective use of artificial intelligence in the diagnosis of individual neoplasms, assessment of the molecular subtype of breast cancer, urine cytology according to the Paris system, determination of Gleason scores for prostate cancer, assessment of PD-L1 expression in tumors has been proven, while eliminating the problem of variability in pathologists' assessments. Artificial intelligence can compensate for staff shortages, reduce physician workload, prevent burnout. The question remains how artificial intelligence will help with complex histomorphological differential diagnosis in the future and how to solve the impact of unrepresentative training data, data confidentiality issues, algorithm fragility, and reduce error rates. Researchers emphasize the indispensable



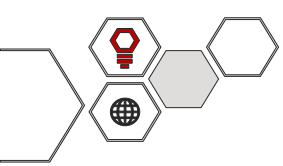
role of human experts in the synthesis of images, clinical data, and experience for complex histopathological diagnostic tasks.

Keywords: artificial intelligence, medical research, pathological histopathological examination.

Вступ. 21 століття називають ерою інновацій, у якій однією з найактуальніших тем є штучний інтелект (далі ШІ), або AI-Artificial intelligence [1]. Технології штучного інтелекту присутні як у повсякденному, так і професійному житті, знаходять застосування в різних сферах, таких як охорона здоров'я, промисловість, сільське господарство, оборона, освіта ті інші [2-3]. Сьогодні звичним є розпізнавання смартфоном обличчя хазяїна, не дивує управління автопілотом автомобілями, оперує в хірургічній операційній робот, віртуальні помічники розпізнають голос і дають відповіді та поради, пишуть тексти, вуличні камери заходять правопорушників. І це частина прикладів того, як сучасні інновації полегшують життя людей [4].

Мета дослідження: порівняти зарубіжні та вітчизняні засади правового регулювання застосування штучного інтелекту, дослідити ефективність застосування та перспективи подальшого впровадження штучного інтелекту у медичні (патогістологічні) дослідження шляхом аналізу сучасних наукових публікацій.

Матеріали та методи досліджень. Стаття носить переважно теоретичний характер. Були використані наступні методи: збір інформації та систематизація (розділи правового забезпечення використання штучного інтелекту, дослідження застосування штучного інтелекту у окремих медичних дослідженнях, зокрема, патогістологічних), аналіз (виокремлення окремих частин і даних публікацій), синтез (об'єднання результатів даних та окремих частин в єдине ціле), узагальнення. Пошук проводився у пошуковій системі *Google* (<https://www.google.com.ua/>), бази

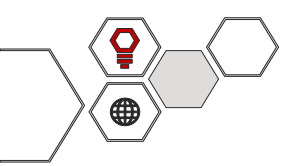


даних PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>), сайті Національної медичної бібліотеки США (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>), платформах медичної літератури ScienceDirect (<https://sciencedirect.com/>) та Elsevier (<https://www.elsevier.com/>) за запитами «штучний інтелект, патологія» та «штучний інтелект, цитоморфологія», роки пошуку 2015-2025. Всього опрацьовано 185 публікацій, з них відібрано 69. Критерії включення: публікації, що стосуються історичних та правових аспектів використання штучного інтелекту, дослідження щодо результатів впровадження цифрової патології, штучного інтелекту у медичних дослідженнях, зокрема, патології та цитоморфології. Критеріями виключення були джерела авторів російської федерації, та дослідження, що проводились понад 5 років тому. Використано всього 69 публікацій, з них 6 джерел з правових аспектів регулювання штучного інтелекту та 63 джерела досліджень використання штучного інтелекту в патології та цитоморфології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Оскільки штучний інтелект з кожним днем все більше використовується людиною у світі, вважається за необхідним дослідити питання правового регулювання та можливі правові та неправові наслідками використання штучного інтелекту, до яких можливо віднести наступні.

У квітні 2021 року Європейською Комісією у квітні 2021 року підготовлений у грудні 2023 року схвалений Європейським парламентом і Радою ЄС Закон про штучний інтелект набув чинності в ЄС 13 березня 2024 року. Ухвалений Європейським парламентом регламент має забезпечити безпеку і дотримання прав громадян при застосуванні ШІ. У США немає законодавства, яке регулює процеси використання ШІ, але з 2023 року діє Указ Президента США про штучний інтелект (Executive Order on Safe, Secure, and Trustworthy Artificial Intelligence), у якому є вимоги щодо проведення нових

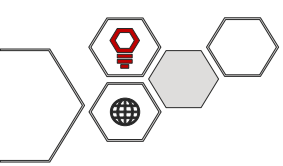


оцінок безпеки, необхідності дотримання принципів рівності та громадянських прав, та дослідження впливу ШІ на ринок праці.

Термін «штучний інтелект» є відносно новим для українського законодавства, тому на даний момент в чинному законодавстві немає чіткого правового визначення та правового регулювання. З точки зору підзаконних актів можливо зазначити, що рух до остаточного прийняття законів, які будуть визначати використання штучного інтелекту, зроблені. Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 02 грудня 2020 р. № 1556-р було схвалено Концепцію розвитку штучного інтелекту в Україні [5].

Концепція визначає штучний інтелект як організовану сукупність інформаційних технологій, що дозволяє виконувати складні завдання за допомогою системи наукових методів досліджень та алгоритмів обробки інформації. Ці технології можуть використовувати як отриману, так і самостійно створену інформацію під час роботи. Крім того, ШІ здатний створювати та використовувати власні бази знань, моделі прийняття рішень, алгоритми обробки інформації та визначати способи досягнення поставлених цілей.

Тобто, ШІ – це програмний продукт, що на вході отримує завдання, далі сам збирає, сортує та обробляє дані, а потім пропонує готове рішення [4]. Це рішення, як правило, сприймається як наслідок роботи програми, що демонструє інтелектуальну (осмислену, ціленаправлену) поведінку, що функціонально подібна до людського мислення. Оскільки ШІ є програмним продуктом, схожим на комп'ютерну програму, правове регулювання штучного інтелекту може бути застосоване аналогічно до регулювання комп'ютерних програм. Наразі в Україні регулювання комп'ютерної програми прирівнюється до літературного твору, тому вважається подальше посилення на правове регулювання ШІ з точки зору норм цивільного права України, а



саме цивільно-правових норм, які захищають авторські права розробників та користувачів програм із ШІ.

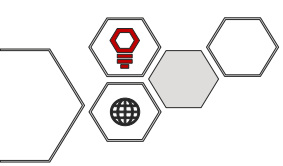
Насьогодні є різні підходи до регулювання прав інтелектуальної власності на об'єкти, створені ШІ. В країнах, що дотримуються англосаксонської системи права, поширеним є підхід, згідно з яким ШІ не може мати прав на інтелектуальну власність. Ці права можуть належати лише людині.

У Великобританії законодавство встановлює, що право власності на об'єкти, створені за допомогою машин, належать особі, яка вжила заходів для їх створення. Подібні висновки роблять як у країнах Європейського Союзу, так і в Україні. Вітчизняне законодавство визначає, що автором є фізична особа, яка створила твір завдяки своїй творчій діяльності. Таким чином, первинне авторське право належить саме цій особі.

На законодавчому рівні залишається неврегульованим питання, хто саме вважається автором твору: чи це програміст (творець програми), чи особа, яка дала певне завдання цій програмі. Однак на практиці вже є звичайним при купівлі-продажу програм, що містять технології ШІ, укладається угода користувача чи договір, що регулюють питання авторства, які можуть виникнути при використанні цих програм (принцип *pacta sunt servanda* (договори повинні виконуватися)).

На сьогоднішній день відповідальність за використання ШІ не має нормативного закріплення. Оскільки відсутнє нормативно-правове регулювання, для визначення відповідальної особи у кожному конкретному випадку важливо встановити причинно-наслідковий зв'язок, а також визначити момент, встановити та встановлення моменту, дії та обставини, що призвели до некоректної роботи ШІ.

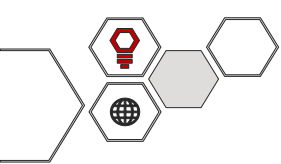
Які є очікування від законодавства з питань регулювання процесів використання ШІ? Наголосимо, що на сьогодні Міністерством цифрової



трансформації України уже розроблено дорожню карту з питань регулювання ШІ. Очікується, що це підготує українських компаній до прийняття закону-аналога AI Act Європейського Союзу, а громадянам допоможе навчитися захищати себе від ризиків застосування ШІ [6]. Очікується, що шляхом впровадження цього підходу до регулювання ШІ, вітчизняний бізнес буде більш конкурентоспроможним та отримає ширший доступ до світового ринку.

Окремі питання — це права українців у цифровому просторі. ШІ невинно розвивається, тому мета правників і законодавців — створення безпечного сприятливого середовища для розвитку суспільства за допомогою ШІ та уникнення потенційних загроз.

Генеративний штучний інтелект може стати початком величезного прогресу в охороні здоров'я, якщо його застосовувати відповідально. ШІ, зокрема генеративний ШІ, став трансформаційним інструментом у сфері охорони здоров'я, який може революціонізувати процес прийняття клінічних рішень і покращити результати здоров'я. Генеративний штучний інтелект, здатний генерувати нові дані, такі як текст і зображення, обіцяє покращити догляд за пацієнтами, революціонізувати діагностику захворювань і розширити можливості лікування. Проте корисність і вплив генеративного штучного інтелекту в охороні здоров'я залишаються недостатньо вивченими, викликаючи занепокоєння щодо етичних і медико-правових наслідків, інтеграції в надання послуг охорони здоров'я та використання робочої сили. Крім того, немає чіткого шляху впровадження та інтеграції генеративного штучного інтелекту в наданні медичних послуг. Так, численні огляди використання генеративного ШІ в охороні здоров'я зосереджуються на корисності технології в охороні здоров'я та її трансляційному застосуванні, підкреслюють необхідність ретельного планування, виконання та управління очікуваннями під час впровадження генеративного ШІ в клінічній практиці, а

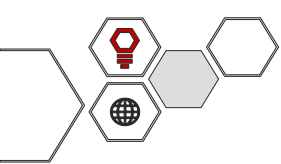


основні міркування включають такі фактори, як конфіденційність даних, безпека та незамінна роль досвіду клініцистів [6].

Так у своїй роботі Томас Давенпорт та Раджив Ронанки [7] пишуть, що низка галузей, таких як охорона здоров'я, фінансові послуги та освіта можуть стати менш дорогими для суспільства, але при цьому покращиться їх якість та ефективність роботи завдяки автоматизації рутинної роботи, а також завдяки використанню когнітивних технологій. З цієї позиції вирізняються три важливі потреби, які ШІ може задовольнити: 1) автоматизація/алгоритмізація ШІ бізнес-процесів, 2) більш глибоке розуміння із ШІ отриманих аналітичних даних (на перед аналітичному, аналітичному та пост аналітичному етапах), а також 3) взаємодія з клієнтами та персоналом [7, 8].

Автоматизація ШІ процесів цифрових та фізичних завдань – у першу чергу адміністративних операцій – з використанням RPA (роботизованої автоматизації процесів). Ця сучасна технологія функціонує подібно до людини, яка отримує та обробляє інформацію з кількох ІТ-систем, оскільки «роботи» (тобто програмний код на сервері). Когнітивне прогнозування засноване на алгоритмах виявлення закономірностей у величезних масивах даних та інтерпретації їх значень – на кшталт аналітичного реслінгу. Когнітивна взаємодія, проекти, які залучають співробітників та клієнтів до спілкування та здатні обробляти природну мову за допомогою чат-ботів, інтелектуальних програм та машинного навчання [8].

ШІ стає все більш вирішальним у відкритті та розробці ліків, покращує процес прийняття рішень у різних дисциплінах, таких як медична хімія, молекулярна та клітинна біологія, фармакологія, патологія та клінічна практика. Крім того, ШІ сприяє відбору та стратифікації популяції пацієнтів. Незважаючи на численні переваги штучного інтелекту, такі як удосконалення та вдосконалення точної медицини і дистанційного моніторингу пацієнтів, розкриття його повного потенціалу в охороні здоров'я вимагає вирішення

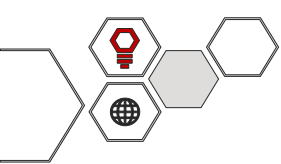


фундаментальних проблем, зокрема, якість даних, відсутність добре анотованих великих наборів даних, проблеми конфіденційності та безпеки даних, упередженості в алгоритмах штучного інтелекту, юридичні та етичні проблеми, а також перешкоди, пов'язані з вартістю та впровадженням [9, 10].

Дослідження Shuaib A. містить комплексний аналіз ШІ в охороні здоров'я, зосереджуючись на його трансформаційному впливі на клінічну практику, прийняття рішень і стосунки між лікарем і пацієнтом, підкреслюючи його роль у оптимізації адміністративних процесів, покращенні догляду за пацієнтами та зниженні виснаження лікарів, зберігаючи при цьому людиноцентричний підхід у медицині. Підкреслюється необхідність адаптації до певного контексту та ретельної інтеграції технологій штучного інтелекту в існуючі робочі процеси охорони здоров'я, щоб максимізувати переваги та мінімізувати непередбачені наслідки. Значна увага приділяється впливу штучного інтелекту на роль і компетенцію медичних працівників, оскільки поява ШІ потребує нових навичок у володінні даними та використанні технологій, спонукаючи до зміни навчальних програм у бік цифрового здоров'я та навчання самого ШІ. Досліджуються проблеми, пов'язані з конфіденційністю даних, алгоритмічними упередженнями та забезпеченням справедливого доступу до охорони здоров'я, керованого ШІ [11 -13].

Результати та їх обговорення.

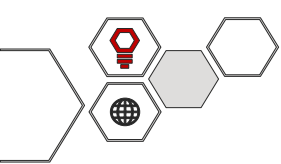
Як патологія, так і цитопатологія все ще покладаються на розпізнавання мікроскопічних морфологічних особливостей, і аналіз зображень відіграє вирішальну роль, дозволяючи ідентифікувати, категоризувати та охарактеризувати різні типи тканин, клітинні популяції та стани захворювання на мікроскопічних зображеннях. Історично ручні методи були основним підходом, який покладався на експертні знання та досвід патологів для інтерпретації мікроскопічних зразків тканин. Поява комп'ютерів і технологій цифрових зображень поставила під сумнів ексклюзивність людського зору та



обчислювальних навичок мозку, змінивши процес діагностики в цих сферах. Збільшення оцифровки патологічних зображень призвело до застосування більш об'єктивних і ефективних методів комп'ютерного аналізу. Значні досягнення були досягнуті завдяки інтеграції цифрової патології, машинного навчання та передових технологій візуалізації [14 - 17].

Інтеграція комп'ютерного зору в патологію через оцифрування слайдів являє собою трансформаційний стрибок в еволюції галузі. Традиційні методи патології, незважаючи на надійність, часто вимагають багато часу та чутливі до варіабельності всередині та між спостерігачами [19, 20].

Цифрова патологія перетворила традиційну патологічну практику аналізу тканин під мікроскопом на робочий процес комп'ютерного зору. Зображення цілого слайда дозволяє патологам переглядати та аналізувати мікроскопічні зображення на моніторі комп'ютера, уможливорюючи обчислювальну патологію. Використовуючи ШІ і машинне навчання, обчислювальна патологія в останні роки стала багатообіцяючою галуззю. Нещодавно спеціальний ШІ/ML (наприклад, згорткові нейронні мережі) вийшов на передній план, досягнувши продуктивності, що перевищує людську продуктивність у багатьох задачах обробки зображень і комп'ютерного зору. Проте спеціальні моделі AI/ML не можуть робити висновки з мультимодальних даних і не мають узагальнення, наприклад, моделі AI часто не можуть узагальнити нові набори даних або невидимі варіації в отриманні зображень, методах фарбування або типах тканин. 2020-ті роки є свідками зростання базових моделей і генеративного ШІ, де ШІ навчена з використанням великих даних, які пізніше адаптуються (або налаштовуються) для виконання різних завдань, використовуючи певну кількість анотованих даних для конкретного завдання, можуть самостійно виправляти помилки та швидко адаптуватися до відгуків користувачів [12, 25].



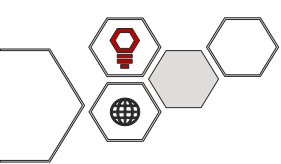
Загальноновизнано, що цифрова патологія все частіше використовується в діагностиці раку, надаючи додаткові інструменти для швидшої, якіснішої та точної діагностики. Практика діагностики патології пройшла через приголомшливу трансформацію, коли нові інструменти, такі як цифрові зображення, передові алгоритми ШІ і методи комп'ютерної діагностики, використовуються для допомоги, розширення та розширення можливостей обчислювальної гістопатології та діагностики з підтримкою ШІ [21 - 24].

Застосування передових алгоритмів і архітектур глибокого навчання, таких як CNN і U-Nets, розширюють діагностичні можливості патологів, відкриваючи нові межі в автоматизованому аналізі зображень. Однак ця трансформаційна сила вимагає міждисциплінарної співпраці між патологоанатомами, комп'ютерниками та інноваторами галузі для стимулювання досліджень і розробок [19 - 26].

У сучасній літературі є ряд повідомлень про досягнення використання ШІ у діагностиці певних новоутворень. Рак молочної залози - найпоширеніший вид раку серед жінок, його діагностика вимагає точної ідентифікації та класифікації гістологічних особливостей для ефективного персоніфікованого лікування пацієнта.

Дослідники Soliman A, Li Z, Parwani AV. наголошують на впливі ШІ на діагностику та лікування раку молочної залози у галузі патології та пропонують вирішення обмежень, таких як преаналітичні змінні, вимоги до анотацій і проблеми диференціації, що мають ключове значення для реалізації повного потенціалу штучного інтелекту в патології раку молочної залози [28].

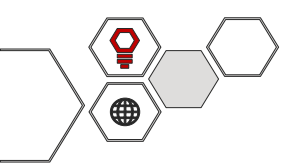
Повідомлення Katayama A, Aoki Y, Watanabe Y, Horiguchi J, Rakha EA, Oyama T. революційно стверджує, що використання згорткових нейронних мереж і нових трансформаторів зору (Vision Transformers, ViT) автоматизують завдання патологів, включаючи виявлення та класифікацію пухлин [29 - 31].



Програми глибокого навчання також були розширені до передбачення експресії білка, молекулярного підтипу, статусу мутації, терапевтичної ефективності та прогнозування результатів безпосередньо на скельцях, пофарбованих гематоксиліном та еозином, обходячи потребу в імуногістохімічному або генетичному тестуванні.

Численні дослідження продемонстрували високу варіативність між спостерігачами та між спостерігачами при оцінці фарбування HER2 очима людини. Запропоновано високоточну систему штучного інтелекту для ідентифікації та фільтрації компонентів DCIS і автоматичної оцінки експресії HER2 при інвазивному раку молочної залози. Кількість пацієнтів з HER2 1+, яким неправильно діагностували HER2 0, значно зменшилася (32/279 проти 65/279), і вони отримали користь від препаратів ADC. Крім того, алгоритм штучного інтелекту покращив внутрішньогрупову узгодженість показань HER2 патологами з різним досвідом роботи (внутрішньокласовий коефіцієнт кореляції [ICC]: 0,872-0,926 проти 0,818-0,908), причому покращення найбільш виражене серед молодших патологів (0,885 проти 0,818) [16]. Експериментальна модель системи глибокого багатозадачного навчання досягла оптимальної дискримінаційної продуктивності шляхом застосування спільного прогнозування гістологічного ступеня і молекулярного підтипу та статусу маркера проліферації (Ki-67) при раку молочної залози за допомогою багатофазної динамічної контрастної магнітно-резонансної томографії [32 - 35].

Систему III також успішно використовують на основі глибокого навчання, яка класифікує препарати цитологічного дослідження сечі відповідно до Паризької системи. Було розроблено та перевірено автоматизовану систему штучного інтелекту за допомогою 535 послідовних слайдів цитології сечі. AI передбачав гістологічну високодиференційовану уротеліальну карциному з оцифрованих слайдів цитології сечі з вищою

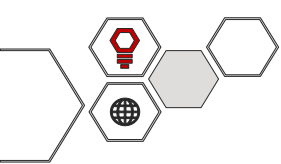


чутливістю, ніж патологи, зберігаючи порівнянну специфічність і точність [36].

Розробка системи оцінки Глісона виявилася незамінним інструментом у діагностиці раку простати в урології. Шкала за Глісоном при біопсії є важливим прогностичним маркером для пацієнтів з раком простати. Незважаючи на прогрес і розвиток діагностики, навіть найдосвідченіші патологи все ще мають розбіжності в процесі оцінки. Алгоритми штучного інтелекту продемонстрували потенціал у виявленні раку та призначенні балів за Глісоном, пропонуючи вирішення проблеми значної мінливості оцінок патологів. Патологоанатоми, які використовують ШІ, повідомили про успішні результати, демонструючи його ефективність як додаткового інструменту [37, 38].

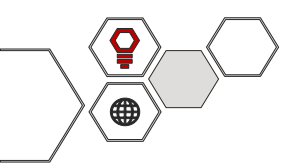
Продовжуючи дослідження продуктивності патологів та ШІ у присвоєнні балів Глісона, проведено оцінки та порівняння продуктивності загальнодоступних і комерційних алгоритмів найвищого рейтингу з використанням реальних даних. Комерційні алгоритми працювали на рівні або перевершували найкращі публічні алгоритми [39].

Запропоновано триетапну інноваційну систему глибокого навчання на основі фреймворку для автоматичної оцінки ступеня раку простати з використанням класифікації за допомогою глибоких нейронних мереж та сегментації ступенів раку простати та обчислення ступенів Міжнародного товариства урологічної патології (ISUP) за допомогою класифікаторів машинного навчання (коефіцієнт подібності кубиків (DSC) - 84,9%, фреймворк досяг квадратично зваженого балу каппа (QWK) 0,9215), проте дослідники наголошують на необхідності подальших досліджень для оцінки адаптивності та ефективності цієї системи в різних клінічних сценаріях [40, 451].



Діагностика та лікування урологічних пухлин, спираючись на допоміжні дані, такі як медична візуалізація, враховуючи індивідуальні характеристики пацієнта при виборі лікування, вже давно є ключовим викликом у клінічній медицині. Традиційно клініцисти використовували великий досвід для прийняття рішень. Системи ШІ, навчаючись на величезних наборах даних, виявляють приховані функції, пропонуючи надійну діагностику та персоналізовані плани лікування. Раннє виявлення має вирішальне значення для таких пухлин, як нирково-клітинна карцинома, рак сечового міхура і рак простати. Штучний інтелект у поєднанні з аналізом даних покращує раннє виявлення та знижує частоту помилкових діагнозів, підвищуючи точність лікування [42 - 48].

Стандартизована запрограмована оцінка PD-L1 при недрібноклітинному раку легені (NSCLC) є складною через різноманітність між спостерігачами серед патологів та використання різних антитіл. Існує великий попит на розробку системи ШІ для отримання високоточних показників експресії PD-L1 у сценаріях клінічної діагностики. Запропоновано та апробовано систему ШІ, використовуючи зображення цілих слайдів (WSI) аналізу 22c3 для автоматичної оцінки пропорції пухлини (TPS) експресії PD-L1 на основі моделі глибокого навчання (DL) виявлення пухлини. Тест діагностики за допомогою ШІ підтвердив, що повторюваність і ефективність непідготовлених патологів можна покращити за допомогою системи ШІ. Аналіз Ventana PD-L1 (SP263) показав високу узгодженість розрахунків TPS між системою ШІ та патологами ($R = 0,9787$), вказує на переваги використання системи з підтримкою штучного інтелекту для покращення діагностичної повторюваності та ефективності для патологів [49]. Проте дослідження порівняльної ефективності алгоритмів патологоанатомів та алгоритмів ШІ в оцінці експресії PD-L1 при недрібноклітинному раку легень виявили сильну узгодженість оцінок між ШІ та патологоанатомами при вищих рівнях TPS.

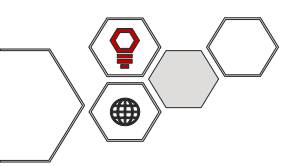


При TPS 1% продуктивність алгоритмів штучного інтелекту була менш послідовна [50]. Запропонована система глибокого навчання в три етапи для автоматичної оцінки TPS експресії PD-L1 з цілих зображень слайдів при недрібноклітинному раку легень продемонструвала багатообіцяючі результати - TPS, передбачений фреймворком, тісно корелював з TPS патологоанатома на рівні 0,9635 [51].

Доведено, що втрата ретикулінового каркасу у нейроендокринних пухлинах гіпофіза служить відмінною рисою між нормальним та неопластичним аденогіпофізом. Різний ступінь порушення ретикулінового каркасу демонструють новоутворення паращитовидних залоз, включаючи аденоми, атипові пухлини та карциноми, що може допомогти в диференціальній діагностиці. Аналогічно, в адренокортикальних новоутвореннях оцінка ретикулінового каркасу, поряд з трьома критеріями Вайса, відіграє вирішальну роль в оцінці злоякісності. Досягнення в цифровій патології та штучному інтелекті пропонують перспективні шляхи для автоматизованої кількісної оцінки ретикулінового каркасу, підвищення діагностичної точності та прогностичних оцінок [52].

Оцінка площі ретикуліну на основі штучного інтелекту ефективно використовується як новий гістологічний предиктор результатів при гепатоцелюлярній карциномі [53, 54].

Враховуючи швидкий розвиток, немає сумнівів, що штучний інтелект суттєво вплине на патологічну діагностику. Однак залишається відкритим питання, чи буде штучний інтелект перш за все іншим діагностичним інструментом, таким як імуногістохімія, чи штучний інтелект також зможе замінити досвід людини. Більшість сучасних досліджень штучного інтелекту в гістопатології стосуються відносно простих діагностичних проблем і ще не здатні впоратися зі складністю рутинної діагностики. Хоча деякі методи в молекулярній патології вже були б немислимі без штучного інтелекту,



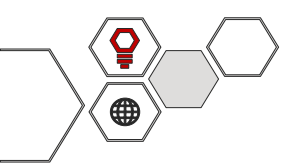
залишається показати, як штучний інтелект також зможе допомогти зі складною гістоморфологічною диференційною діагностикою в майбутньому [54 - 58].

Перехід на цифрові технології також виявив загрози, що включають вплив нерепрезентативних навчальних даних із супутнім неявним упередженням, проблеми конфіденційності даних і крихкість роботи алгоритму. Окрім таких основних цифрових аспектів, виникають очікувані труднощі, пов'язані зі зміною проявів захворювання (патоморфоз, нозоморфоз), діагностичних підходів і терапевтичних варіантів [13, 59, 60].

ШІ має потенціал змінити практику хірургічної патології, забезпечуючи швидкі та точні результати та дозволяючи патологоанатомам зосередитися на діагностичних і консультативних завданнях вищого рівня, таких як інтеграція молекулярної, морфологічної та клінічної інформації для встановлення точного діагнозу в складних випадках, визначення прогнозу об'єктивно і таким чином сприяти індивідуальному догляду [61, 62].

Якщо штучний інтелект буде широко впроваджений, він може усунути багато недоліків у щоденній практиці та компенсувати нестачу персоналу. Це також може призвести до зниження навантаження практикуючого лікаря, зменшення зайнятості та запобігати вигоранню [63, 64].

Зараз світ переживає нову хвилю новацій, зумовлених появою та використанням ChatGPT. ChatGPT, штучний інтелект, здатний обробляти та генерувати людську мову, вивчався в галузях освіти, зокрема, медичній освіті та догляді, але його потенціал у гістопатологічній діагностиці досі залишається невивченим. Є доповідь про дослідження, що оцінює надійність ChatGPT у вирішенні діагностичних питань, пов'язаних з патологією, у десяти напрямках, а також його здатність надавати наукові посилання [65]. ChatGPT надав корисні відповіді в 62,2% випадків, а 32,1% результатів не містили помилок, тоді як решта містили принаймні одну помилку. ChatGPT надав 214



бібліографічних посилань: 70,1% правильних, 12,1% неточних і 17,8% неіснуючих. Хоча ChatGPT надав корисні відповіді в одній третині випадків, частота помилок і мінливість підкреслює його неадекватність для рутинного діагностичного використання та підкреслює необхідність обережності як інструмента діагностики. Неточне посилання також передбачає обережність як засіб самонавчання. Дослідники категорично наголошують на незамінній ролі експертів-людей у синтезі зображень, клінічних даних і досвіду для складного завдання гістопатологічної діагностики.

Висновки.

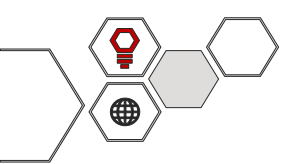
1. Впровадження та використання штучного інтелекту у цито- та гістопатологічній діагностиці потребує подальшого правового удосконалення.
2. Потенціал використання штучного інтелекту у гістопатологічній діагностиці досі залишається невивченим, існуючі повідомлення мають характер досліджень локальних завдань, не дають відповіді щодо перспектив заміни людини у гістопатологічній діагностиці навіть у рутинній практиці.
3. Дослідження підкреслює необхідність подальшого вдосконалення інструментів штучного інтелекту, щоб вони відповідали надійності експертної оцінки людиною, особливо в критичних клінічних контекстах прийняття рішень.
4. Використання експертів-людей залишається безальтернативним варіантом вирішення складних клініко-морфологічних завдань.

Джерела фінансування досліджень. Власні кошти.

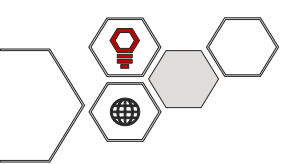
Інформація про конфлікт інтересів. Відсутній конфлікт інтересів.

Список літератури

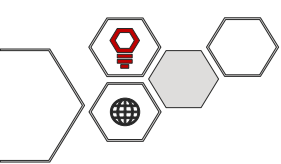
1. Енциклопедія кібернетики: у 2 т. / за ред. В. М. Глушкова. Київ : Голов. ред. Української радянської енциклопедії, 1973. 2 т.



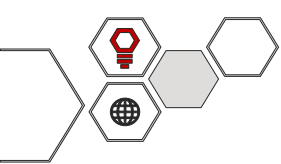
2. Малиновський Б. М. Історія обчислювальної техніки в особах. Київ : Фірма "KIT", ПТОО "А.С.К.", 1995. Режим доступу: http://icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/Malinovsky_history_ukr.pdf
3. Малиновський Б. М. Відоме і невідоме в історії інформаційних технологій в Україні. Київ : Інтерлінк, 2004. Режим доступу: <http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/IT-Ukraine.pdf>
4. Кратко М. І. З розвитку історії інформатики в Україні. *Світогляд*. 2009. № 4 (6). С. 56–62.
5. Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 2 грудня 2020 р. № 1556-р. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1556-2020-%D1%80>.
6. Дорожня карта з регулювання ІІІ в Україні / Міністерство цифрової трансформації України. 2023. 10 с. Режим доступу: https://thedigital.gov.ua/storage/uploads/files/page/community/docs/Дор_ожня_карта_з_регулювання_ІІІ_в_Україні_compressed.pdf.
7. Davenport T. H., Ronanki R. Artificial intelligence for the real world. *Harvard Business Review*. 2018. Vol. 96, No 1/2. P. 108–116. <https://hbr.org/2018/01/artificial-intelligence-for-the-real-world>.
8. Rajpurkar P., Chen E., Banerjee O., Topol E. J. AI in health and medicine. *Nature Medicine*. 2022. Vol. 28. P. 31–38.
9. Reddy S. Generative AI in healthcare: an implementation science informed translational path on application, integration and governance. *Implementation Science*. 2024. Vol. 19 (1). P. 27. doi: 10.1186/s13012-024-01357-9.
10. Campanella G., Vanderbilt C., Fuchs T. Computational pathology at health system scale – self-supervised foundation models from three billion images. *Arxiv*. 2024. Doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.07033>



11. Carini C., Seyhan A. A. Tribulations and future opportunities for artificial intelligence in precision medicine. *Journal of Translation Medicine*. 2024. Vol. 22 (1). P. 411. doi: 10.1186/s12967-024-05067-0.
12. Shuaib A. Transforming Healthcare with AI: Promises, Pitfalls, and Pathways Forward. *International Journal of Geneneral Medicine*. 2024. Vol. 17. P. 1765–1771.
13. Baxi V., Edwards R., Montalto M., Saha, S. Digital pathology and artificial intelligence in translational medicine and clinical practice. *Modern Pathology*. 2022. Vol. 35. P. 23–32.
14. Revolutionizing Digital Pathology with the Power of Generative Artificial Intelligence and Foundation Models / Waqas A. et al. *Laboratory Investigation*. 2023. Vol. 103 (11). Doi: P. 100255. doi: 10.1016/j.labinv.2023.100255.
15. Towards a general-purpose foundation model for computational pathology / Chen R. J. et al. *Natural Medicine*. 2024. Vol. 30. P. 850–862.
16. Shafi S., Parwani A. V. Artificial intelligence in diagnostic pathology. *Diagnostic Pathologic*. 2023. Vol. 18. P. 109.
17. Digital pathology structure and deployment in Veneto: a proof-of-concept study / Eccher A. et al. *Virchows Archive*. 2024. Vol. 485. P. 453–460. <https://doi.org/10.1007/s00428-024-03823-7>
18. Kiehl T. R. Digital and Computational Pathology: A Specialty Reimagined. *The Future Circle of Healthcare. Future of Business and Finance : book* / Ehsani S., Glauner P., Plugmann P., Thieringer F. M. (eds). Springer, 2022. P. 227–250. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99838-7_12
19. Mezei T., Kolcsár M., Joó A., Gurzu S. Image Analysis in Histopathology and Cytopathology: From Early Days to Current Perspectives. *Journal Imaging*. 2024. Vol. 10 (10). P. 252. doi: 10.3390/jimaging10100252.



20. A whole-slide foundation model for digital pathology from real-world data / Xu H. et al. *Nature*. 2024. Vol. 30. P. 181–188.
21. Towards a generalizable pathology foundation model via unified knowledge distillation / Ma J. et al. *Arxiv*. 2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.18449>
22. Chang J., Hatfield B. Advancements in computer vision and pathology: Unraveling the potential of artificial intelligence for precision diagnosis and beyond. *Advances in Cancer Research*. 2024. Vol. 161. P. 431–478. doi: 10.1016/bs.acr.2024.05.006.
23. RudolfV: a foundation model by pathologists for pathologists / Dippel J. et al. *Arxiv*. 2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.04079>
24. A pathology foundation model for cancer diagnosis and prognosis prediction / Wang X. et al. *Nature*. 2024. Vol. 634. P. 970–978.
25. PathoDuet: foundation models for pathological slide analysis of H&E and IHC stains / Hua S. et al. *Medical Image Analysis*. 2024. Vol. 97. P. 103289.
26. A visual-language foundation model for computational pathology / Lu M. Y. et al. *Nature Medicine*. 2024. Vol. 30. P. 863–874.
27. Shafi S., Parwani A. V. Artificial intelligence in diagnostic pathology. *Diagnostic Pathology*. 2023. Vol. 18 (1). P. 109. doi: 10.1186/s13000-023-01375-z.
28. Soliman A., Li Z., Parwani A. V. Artificial intelligence's impact on breast cancer pathology: a literature review. *Diagnostic Pathology*. 2024. Vol. 19 (1). P. 38. doi: 10.1186/s13000-024-01453-w.
29. Current status and prospects of artificial intelligence in breast cancer pathology: convolutional neural networks to prospective Vision Transformers /



Katayama A. et al. *International Journal of Clinical Oncology*. 2024. Vol. 29 (11). P. 1648–1668. doi: 10.1007/s10147-024-02513-3.

30. Reddy S., Shaheed A., Seo Y., Patel R. Development of an artificial intelligence model for the classification of gastric carcinoma stages using pathology slides. *Cureus*. 2024. Vol. 16. P. e56740.

31. Clinical implementation of artificial-intelligence-assisted detection of breast cancer metastases in sentinel lymph nodes: the CONFIDENT-B single-center, non-randomized clinical trial / van Dooijeweert C. et al. *Nature Cancer*. 2024. Vol. 5. P. 1195–1205.

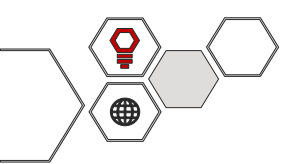
32. Multi-task learning for joint prediction of breast cancer histological indicators in dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging / Sun R. et al. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 2025. Vol. 267. P. 108830. doi: 10.1016/j.cmpb.2025.108830

33. A Framework for Deep Multitask Learning with Multiparametric Magnetic Resonance Imaging for the Joint Prediction of Histological Characteristics in Breast Cancer / Fan M. et al. *IEEE J Biomed Health Inform.* 2022. Vol. 26 (8). P. 3884–3895. doi: 10.1109/JBHI.2022.3179014

34. Molecular-subtype guided automatic invasive breast cancer grading using dynamic contrast-enhanced MRI / Sun R. et al. *Comput Methods Programs Biomed.* 2023. Vol. 242. P. 107804. doi: 10.1016/j.cmpb.2023.107804. Epub 2023 Sep 6. PMID: 37716219.

35. Tang X., Zhu Y. RAE-Net: a multi-modal neural network based on feature fusion and evidential deep learning algorithm in predicting breast cancer subtypes on DCE-MRI. *Biomed Phys Eng Express*. 2025. Vol. 11 (2). doi: 10.1088/2057-1976/adb494. PMID: 39933196.

36. Precision HER2: a comprehensive AI system for accurate and consistent evaluation of HER2



expression in invasive breast Cancer / Xiong Z. et al. *BMC Cancer*. 2024. Vol. 24 (1). P. 1204. doi: 10.1186/s12885-024-12980-6.

37. Fully Automated Artificial Intelligence System to Assist Pathologists
' Diagnosis to Predict Histologically High-grade Urothelial Carcinoma from Digitized Urine Cytology Slides Using Deep Learning / Tsuji K. et al. *European Urology Oncology*. 2024. Vol. 7 (2). P. 258-265. doi: 10.1016/j.euo.2023.11.009.

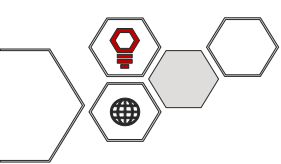
38. Artificial intelligence for diagnosis and Gleason grading of prostate cancer: the PANDA challenge / Bulten W. et al. *Natural Medicine*. 2022. Vol. 28. P. 154–163.

39. Artificial Intelligence Algorithms and Their Current Role in the Identification and Comparison of Gleason Patterns in Prostate Cancer Histopathology: A Comprehensive Review / Khalid U. et al. *Diagnostics (Basel)*. 2024. Vol. 14 (19). P. 21-27. doi: 10.3390/diagnostics14192127.

40. Automating Prostate Cancer Grading: A Novel Deep Learning Framework for Automatic Prostate Cancer Grade Assessment using Classification and Segmentation / Kabir S. et al. *Jourofnal Imaging Information Medicine*. 2025. Vol. 6. doi: 10.1007/s10278-025-01429-2. Epub ahead of print. PMID: 39913023.

41. Prostate cancer risk stratification via nondestructive 3D pathology with deep learning-assisted gland analysis / Xie W. et al. *Cancer Research*. 2022. Vol. 82. P. 334–345.

42. Evaluation of Artificial Intelligence-Based Gleason Grading Algorithms "in the Wild" / Faryna K. et al. *Modern Pathology*. 2024. Vol. 37 (11). P. 100563. doi: 10.1016/j.modpat.2024.100563.



43. Image analysis uncovers associations between immune landscape, collagen structure, and neoadjuvant chemotherapy in high-grade serous ovarian carcinomas / Aggarwal A. et al. *Heliyon*. 2024. Vol. 10. P. e33618 (2024).

44. Translation of tissue-based artificial intelligence into clinical practice: from discovery to adoption / Geaney A. et al. *Oncogene*. 2023. Vol. 42. P. 3545–3555.

45. Unger M., Kather J. N. A systematic analysis of deep learning in genomics and histopathology for precision oncology. *BMC Medical Genomics*. 2024. Vol. 17. P. 48.

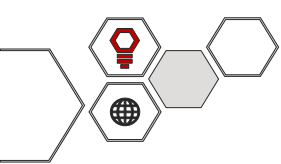
46. A novel computational pathology approach for identifying gene signatures prognostic of disease-free survival for papillary thyroid carcinomas / Monabbati S. et al. *European Journal of Cancer*. 2024. Vol. 212. P. 114326. Doi:10.1016/j.ejca.2024.114326.

47. Association of artificial intelligence-derived collagen disorder architecture (CoDA) features with survival outcome and objective response to immune checkpoint inhibitors in patients with head and neck squamous cell carcinoma [abstract] / Nag R. et al. *Journal of Clinical Oncology*. 2024. Vol. 42 (Suppl. 16). P. 60–61. Doi:10.1200/JCO.2024.42.16_suppl.6061

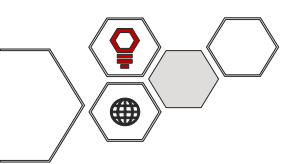
48. Cross-modal deep learning model for predicting pathologic complete response to neoadjuvant chemotherapy in breast cancer / Guo J. et al. *NPJ Precision Oncology*. 2024. Vol. 8. Art. 189.

49. Application of artificial intelligence in the diagnosis and treatment of urinary tumors / Zhu M. et al. *Frontiers in Oncology*. 2024. Vol. 14. P. 1440626. doi: 10.3389/fonc.2024.1440626.

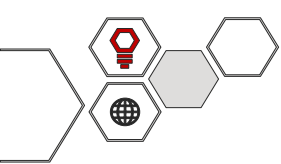
50. Comparative performance of PD-L1 scoring by pathologists and AI algorithms / Plass M. et al. *Histopathology*. 2025. Vol. 87 (1). P. 90–100. doi: 10.1111/his.15432.



51. A novel deep learning framework for automatic scoring of PD-L1 expression in non-small cell lung cancer / Kabir S. et al. *Biomolecules and Biomedicine*. 2025 Mar 3. doi: 10.17305/bb.2025.12056.
52. Reticulin Framework Assessment in Neoplastic Endocrine Pathology / Mortara U. et al. *Endocrine Pathology*. 2025. Vol. 36 (1). P. 21. doi: 10.1007/s12022-025-09867-y
53. Artificial intelligence-based reticulin proportionate area – a novel histological outcome predictor in hepatocellular carcinoma / Patil A. et al. *Histopathology*. 2023. Vol. 83. P. 512–525. <https://doi.org/10.1111/his.15001> - DOI - PubMed
54. Deep learning-enabled virtual histological staining of biological samples / Bai B. et al. *Light Sci Appl*. 2023. Vol. 12, Art. No 57. <https://doi.org/10.1038/s41377-023-01104-7> - DOI - PubMed - PMC
55. Artificial intelligence-assisted system for precision diagnosis of PD-L1 expression in non-small cell lung cancer / Wu J. et al. *Modern Pathology*. 2022. Vol. 35 (3). P. 403-411. doi: 10.1038/s41379-021-00904-9.
56. Cutting-edge technology and automation in the pathology laboratory / Munari E. et al. *Virchows Archive*. 2024. Vol. 484. P. 555–566. <https://doi.org/10.1007/s00428-023-03637-z>
57. Pathology education powered by virtual and digital transformation: now and the future / Hassell L. A. et al. *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*. 2023. Vol. 147. P. 474–491. <https://doi.org/10.5858/ARPA.2021-0473-RA>
58. Quality control stress test for deep learning-based diagnostic model in digital pathology / Schömig-Markiefka B. et al. *Modern Pathology*. 2021. Vol. 34. P. 2098–2108. <https://doi.org/10.1038/s41379-021-00859-x>

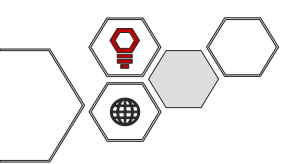


59. Jurmeister P., Müller K. R., Klauschen F. Künstliche Intelligenz als Lösung des PathologInnenmangels? [Artificial intelligence: a solution for the lack of pathologists?]. *Pathologe*. 2022. Vol. 43 (3). P. 218-221. doi: 10.1007/s00292-022-01071-7.
60. Artificial intelligence in digital pathology - time for a reality check / Aggarwal A. et al. *Nature Reviews Clinical Oncology*. 2025. Vol. 22. P. 283–291. <https://doi.org/10.1038/s41571-025-00991-6>
61. AI in Pathology: What could possibly go wrong? / Nakagawa K. et al. *Seminars in diagnostic pathology*. 2023. Vol. 40 (2). P. 100-108. doi: 10.1053/j.semdp.2023.02.006.
62. DigiPatICS: digital pathology transformation of the Catalan Health Institute Network of 8 Hospitals-Planification, Implementation, and Preliminary Results / Temprana-Salvador J. et al. *Diagnostics*. 2022. Vol. 12 (4). P. 852. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12040852>
63. Ahmad Z., Rahim S., Zubair M., Abdul-Ghafar J. Artificial intelligence (AI) in medicine, current applications and future role with special emphasis on its potential and promise in pathology: present and future impact, obstacles including costs and acceptance among pathologists, practical and philosophical considerations. *Diagnostic Pathologic*. 2021. Vol. 16 (1). P. 24. doi: 10.1186/s13000-021-01085-4.
64. The future of artificial intelligence in digital pathology - results of a survey across stakeholder groups / Heinz C. N. *Histopathology*. 2022. Vol. 80. P. 1121–1127. <https://doi.org/10.1111/HIS.14659>
65. Unveiling the risks of ChatGPT in diagnostic surgical pathology / Guastafierro V. et al. *Virchows Archive*. 2024. 488 (4). P. 663-673. doi: 10.1007/s00428-024-03918-1.

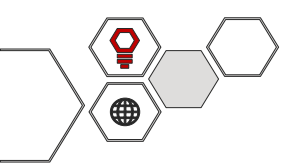


References

1. Glushkov VM, redaktor. Enciklopedija kibernetiki: u 2 t. Kiïv: Gol. red. Ukraïns'koï radjans'koï enciklopedii; 1973. 2 t.
2. Malinovs'kij BM. Istorija obchisljuval'noï tehniki v osobah: PDF. Kiïv: Firma "KIT", PTOO "A.S.K."; 1995. Rezhim dostupu: http://icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/Malinovsky_history_ukr.pdf
3. Malinovs'kij BM. Vidome i nevidome v istorii informacijnih tehnologij v Ukraïni: PDF. Kiïv: Interlink; 2004. Rezhim dostupu: <http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/IT-Ukraine.pdf>
4. Kratko MI. Z rozvitku istorii informatiki v Ukraïni: PDF. Svitogljad. 2009;4(6):56-62.
5. Pro shvalennja Konceptii rozvitku shtuchnogo intelektu v Ukraïni: Rozporjadzhennja Kabinetu Ministriv Ukraïni vid 2 grudnja 2020 r. № 1556-r. Rezhim dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1556-2020-%D1%80>.
6. Dorozhnja karta z reguljuvannja ShI v Ukraïni. Ministerstvo cifrovoi transformacii Ukraïni; 2023. Rezhim dostupu: https://thedigital.gov.ua/storage/uploads/files/page/community/docs/Dorozhnja_karta_z_reguljuvannja_ShI_v_Ukraïni_compressed.pdf.
7. Davenport TH, Ronanki R. Artificial intelligence for the real world. Harvard Business Review. 2018;969(1-2):108-16. Doi: <https://hbr.org/2018/01/artificial-intelligence-for-the-real-world>.
8. Rajpurkar P, Chen E, Banerjee O, Topol EJ. AI in health and medicine. Nat. Med. 2022;28(31-38).
9. Reddy S. Generative AI in healthcare: an implementation science informed translational path on application, integration and governance. Implement Sci. 2024;19(1):27. doi: 10.1186/s13012-024-01357-9.



10. Campanella G, Vanderbilt C, Fuchs T. Computational pathology at health system scale – self-supervised foundation models from three billion images. ARXIV;2024. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.07033>.
11. Carini C, Seyhan AA. Tribulations and future opportunities for artificial intelligence in precision medicine. J Transl Med. 2024;22(1):411. doi: 10.1186/s12967-024-05067-0.
12. Shuaib A. Transforming Healthcare with AI: Promises, Pitfalls, and Pathways Forward. Int J Gen Med. 2024;17:1765-71. doi: 10.2147/IJGM.S449598.
13. Baxi V, Edwards R, Montalto M, Saha S. Digital pathology and artificial intelligence in translational medicine and clinical practice. Mod. Pathol. 2022;35:23-32.
14. Waqas A, Bui MM, Glassy EF, El Naqa I, Borkowski P., Borkowski, et al. Revolutionizing Digital Pathology with the Power of Generative Artificial Intelligence and Foundation Models. Lab Invest. 2023;103(11):100255. doi: 10.1016/j.labinv.2023.100255.
15. Chen RJ, Ding T, Lu MY, Williamson DFK, Jaume G, Song AH, et al. Towards a general-purpose foundation model for computational pathology. Nat. Med. 2024;30:850-862.
16. Shafi S, Parwani AV. Artificial intelligence in diagnostic pathology. Diagn. Pathol. 2023;18:109.
17. Eccher A, Marletta S, Sbaraglia M, Guerriero, Rossi M, Gambaro G. et al. Digital pathology structure and deployment in Veneto: a proof-of-concept study. Virchows Arch. 2024;485(3):453-60. doi: <https://doi.org/10.1007/s00428-024-03823-7>
18. Kiehl TR. Digital and Computational Pathology: A Specialty Reimagined. In: Ehsani S, Glauner P, Plugmann P, Thieringer FM, editors. The



Future Circle of Healthcare: Springer; 2022. p. 227-250. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-99838-7_12

19. Mezei T, Kolcsár M, Joó A, Gurzu S. Image Analysis in Histopathology and Cytopathology: From Early Days to Current Perspectives. *J Imaging*. 2024;10(10):252. doi: 10.3390/jimaging10100252.

20. Xu H, Usuyama N, Bagga J, Zhang S, Rao R, Naumann T, et al. A whole-slide foundation model for digital pathology from real-world data. *Nature*. 2024;630:181-8.

21. Ma J, Guo Z, Zhou F, Wang Y, Xu Y, Li J, et al. Towards a generalizable pathology foundation model via unified knowledge distillation. *ARXIV*. 2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.18449>

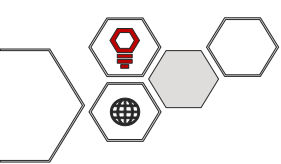
22. Chang J, Hatfield B. Advancements in computer vision and pathology: Unraveling the potential of artificial intelligence for precision diagnosis and beyond. *Adv Cancer Res*. 2024;161:431-78. doi: 10.1016/bs.acr.2024.05.006.

23. Dippel J, Feulner B, Winterhoff T, Milbich T, Tietz S, Schallenberg S, et al. RudolfV: a foundation model by pathologists for pathologists. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.04079>.

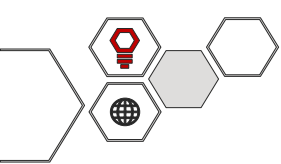
24. Wang X, Zhao J, Marostica E, Yuan W, Jin J, Zhang J, et al. A pathology foundation model for cancer diagnosis and prognosis prediction. *Nature*. 2024;634: 970-8.

25. Hua S, Yan F, Shen T, Ma L, Zhang X. PathoDuet: foundation models for pathological slide analysis of H&E and IHC stains. *Med. Image Anal*. 2024;97:03289.

26. Lu MY, Chen B, Williamson DFK, Chen RJ, Liang I, Ding T, et al. A visual-language foundation model for computational pathology. *Nat. Med*. 2024;30: 863-74.



27. Shafi S, Parwani AV. Artificial intelligence in diagnostic pathology. *Diagn Pathol.* 2023;18(1):109. doi: 10.1186/s13000-023-01375-z.
28. Soliman A, Li Z, Parwani AV. Artificial intelligence's impact on breast cancer pathology: a literature review. *Diagn Pathol.* 2024;19(1):38. doi: 10.1186/s13000-024-01453-w.
29. Katayama A, Aoki Y, Watanabe Y, Horiguchi J, Rakha EA, Oyama T. Current status and prospects of artificial intelligence in breast cancer pathology: convolutional neural networks to prospective Vision Transformers. *Int J Clin Oncol.* 2024;29(11):1648-68. doi: 10.1007/s10147-024-02513-3.
30. Reddy S, Shaheed A, Seo Y, Patel R. Development of an artificial intelligence model for the classification of gastric carcinoma stages using pathology slides. *Cureus.* 2024;16:e56740.
31. van Dooijeweert C, Flach RN, Hoeve NDT, Vreuls CPH, Golschmeding R, Freund JE, et al. Clinical implementation of artificial-intelligence-assisted detection of breast cancer metastases in sentinel lymph nodes: the CONFIDENT-B single-center, non-randomized clinical trial. *Nat. Cancer.* 2024;5:1195-205. doi: 10.1038/s43018-024-00788-z.
32. Sun R, Li X, Han B, Xie Y, Nie S. Multi-task learning for joint prediction of breast cancer histological indicators in dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging. *Comput Methods Programs Biomed.* 2025;267:108830. doi: 10.1016/j.cmpb.2025.108830
33. Fan M, Yuan C, Huang G, Xu M, Wang S, Gao X, et al. A Framework for Deep Multitask Learning With Multiparametric Magnetic Resonance Imaging for the Joint Prediction of Histological Characteristics in Breast Cancer. *IEEE J Biomed Health Inform.* 2022;26(8):3884-95. doi: 10.1109/JBHI.2022.3179014.
34. Sun R, Wei L, Hou X, Chen Y, Han B, Xie Y, Nie S. Molecular-subtype guided automatic invasive breast cancer grading using dynamic contrast-enhanced



MRI. Comput Methods Programs Biomed. 2023;242:107804. doi: 10.1016/j.cmpb.2023.107804.

35. Tang X, Zhu Y. RAE-Net: a multi-modal neural network based on feature fusion and evidential deep learning algorithm in predicting breast cancer subtypes on DCE-MRI. Biomed Phys Eng Express. 2025;11(2). doi: 10.1088/2057-1976/adb494.

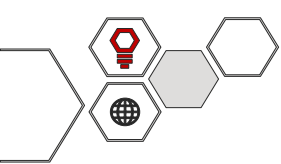
36. Xiong Z, Liu K, Liu S, Feng J, Wang J, Feng Z, et al. Precision HER2: a comprehensive AI system for accurate and consistent evaluation of HER2 expression in invasive breast Cancer. BMC Cancer. 2024;24(1):1204. doi: 10.1186/s12885-024-12980-6.

37. Tsuji K, Kaneko M, Harada Y, Fujihara A, Ueno K, Nakanishi M, et al. A Fully Automated Artificial Intelligence System to Assist Pathologists' Diagnosis to Predict Histologically High-grade Urothelial Carcinoma from Digitized Urine Cytology Slides Using Deep Learning. Eur Urol Oncol. 2024;7(2):258-65. doi: 10.1016/j.euo.2023.11.009.

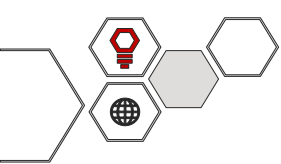
38. Bulten W, Kartasalo K, Chen P-HC, Strom P, Pinckaers H, Nagpal K, et al. Artificial intelligence for diagnosis and Gleason grading of prostate cancer: the PANDA challenge. Nat. Med. 2022;28:154-63.

39. Khalid U, Gurung J, Doykov M, Kostov G, Hristov B, Uchikov P, et al. Artificial Intelligence Algorithms and Their Current Role in the Identification and Comparison of Gleason Patterns in Prostate Cancer Histopathology: A Comprehensive Review. Diagnostics (Basel). 2024;14(19):2127. doi: 10.3390/diagnostics14192127.

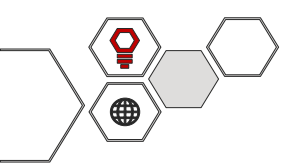
40. Kabir S, Sarmun R, Saady RMAI, Vranic S, Murugappan M, Chowdhury MEH. Automating Prostate Cancer Grading: A Novel Deep Learning Framework for Automatic Prostate Cancer Grade Assessment using Classification and Segmentation. J Imaging Inform Med. 2025;6. doi: 10.1007/s10278-025-01429-2.



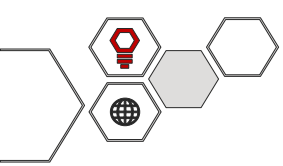
41. Xie W, Reder NP, Koyuncu C, Leo P, Hawley S, Huang H, et al. Prostate cancer risk stratification via nondestructive 3D pathology with deep learning-assisted gland analysis. *Cancer Res.* 2022;82:334-45. doi: 10.1158/0008-5472.CAN-21-2843.
42. Faryna K, Tessier L, Retamero J, Bonthu S, Samanta P, Singhal N, et al. Evaluation of Artificial Intelligence-Based Gleason Grading Algorithms "in the Wild". *Mod Pathol.* 2024;37(11):100563. doi: 10.1016/j.modpat.2024.100563.
43. Aggarwal A, Corredor G, Fu P, Pathak T, Mirtti T, Modesitt S, et al. Image analysis uncovers associations between immune landscape, collagen structure, and neoadjuvant chemotherapy in high-grade serous ovarian carcinomas. *Heliyon.* 2024;10(13):e33618. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e33618.
44. Geaney A, O'Reilly P, Maxwell P, James JA, McArt D, Salto-Tellez M, et al. Translation of tissue-based artificial intelligence into clinical practice: from discovery to adoption. *Oncogene.* 2023;42:3545–55. doi: 10.1038/s41388-023-02857-6.
45. Unger M, Kather JN. A systematic analysis of deep learning in genomics and histopathology for precision oncology. *BMC Med. Genomics.* 2024;17, 48.
46. Monabbati S, Khlighi S, Fu P, Shi Q, Asa SL, Madabhushi A. A novel computational pathology approach for identifying gene signatures prognostic of disease-free survival for papillary thyroid carcinomas. *Eur J Cancer.* 2024;212, 114326. doi:10.1016/j.ejca.2024.114326
47. Nag R, Li H, Patel M et al. Association of artificial intelligence-derived collagen disorder architecture (CoDA) features with survival outcome and objective response to immune checkpoint inhibitors in patients with head and neck squamous cell carcinoma [abstract]. *J Clin Oncol.* 2024;42(Suppl.16): 60-1. doi:10.1200/JCO.2024.42.16_suppl.6061



48. Guo J, Chen B, Cao H, Dai Q, Qin L, Zhang J, et al. Cross-modal deep learning model for predicting pathologic complete response to neoadjuvant chemotherapy in breast cancer. *NPJ Precis. Onc.* 2024;8. Art. 189.
49. Zhu, M., Gu, Z., Chen, F., Chen, X., Wang, Y., Zhao, G. Application of artificial intelligence in the diagnosis and treatment of urinary tumors. *Front Oncol.* 2024;14:1440626. doi: 10.3389/fonc.2024.1440626.
50. Plass M, Olteanu GE, Dacic S, Kern I, Zacharias M, Popper H, et al. Comparative performance of PD-L1 scoring by pathologists and AI algorithms. *Histopathology.* 2025;87(1):90-100. doi: 10.1111/his.15432.
51. Kabir S, Chowdhury MEH, Sarmun R, Vranić S, Al Saady RM, Rose I, et al. A novel deep learning framework for automatic scoring of PD-L1 expression in non-small cell lung cancer. *Biomol Biomed.* 2025 Mar 3. doi: 10.17305/bb.2025.12056. Epub ahead of print. PMID: 40035693.
52. Mortara U, Orlando G, Volante M, Papotti M, Duregon E. Reticulin Framework Assessment in Neoplastic Endocrine Pathology. *Endocr Pathol.* 2025 Jun 4;36(1):21. doi: 10.1007/s12022-025-09867-y.
53. Patil A, Salvatori R, Smith L, Jenkins SM, Cannon A, Hartley CP, et al. Artificial intelligence-based reticulin proportionate area – a novel histological outcome predictor in hepatocellular carcinoma. *Histopathology.* 2023;83:512-25. <https://doi.org/10.1111/his.15001> - DOI - PubMed
54. Bai B, Yang X, Li Y, Zhang Y, Pillar N, Ozcan A. Deep learning-enabled virtual histological staining of biological samples. *Light Sci Appl.* 2023;12. Art. No 57. 12:57. <https://doi.org/10.1038/s41377-023-01104-7> - DOI - PubMed - PMC
55. Wu J, Liu C, Liu X, Sun W, Li L, Gao N, et al. Artificial intelligence-assisted system for precision diagnosis of PD-L1 expression in non-small cell lung cancer. *Mod Pathol.* 2022;35(3):403-11. doi: 10.1038/s41379-021-00904-9.



56. Munari E, Scarpa A, Cima L, Pozzi M, Pagni F, Vasuri F, et al. Cutting-edge technology and automation in the pathology laboratory. *Virchows Arch*. 2024;484:555-66. <https://doi.org/10.1007/s00428-023-03637-z>
57. Hassell LA, Absar SF, Chauhan C, Dintzis S, Farver CF, Fathima S, et al. Pathology education powered by virtual and digital transformation: now and the future. *Arch Pathol Lab Med*. 2023;147(4):474-91. <https://doi.org/10.5858/ARPA.2021-0473-RA>
58. Schömig-Markiefka B, Pryalukhin A, Hulla W, Bychkov A, Fukuoka J, Madabhushi A, et al. Quality control stress test for deep learning-based diagnostic model in digital pathology. *Mod Pathol*. 2021;34:2098-108. <https://doi.org/10.1038/s41379-021-00859-x>
59. Jurmeister P, Müller KR, Klauschen F. Künstliche Intelligenz als Lösung des PathologInnenmangels? [Artificial intelligence: a solution for the lack of pathologists?]. *Pathologe*. 2022;43(3):218-21. doi: 10.1007/s00292-022-01071-7.
60. Aggarwal A, Bharadwaj S, Corredor G, Pathak T, Badve S, Madabhushi A. Artificial intelligence in digital pathology — time for a reality check. *Nat Rev Clin Oncol*. 2025;22:283-291. <https://doi.org/10.1038/s41571-025-00991-6>
61. Nakagawa K, Moukheiber L, Celi LA, Patel M, Mahmood F, Gondim D, et al. AI in Pathology: What could possibly go wrong? *Semin Diagn Pathol* 2023;40(2):100-8. doi: 10.1053/j.semdp.2023.02.006.
62. Temprana-Salvador J, López-García P, Castellví Vives J, de Naro L, Ballesta E, Abusleme MR, et al. DigiPatICS: digital pathology transformation of the Catalan Health Institute Network of 8 hospitals-planification, implementation, and preliminary results. *Diagnostics*. 2022; 12(4):852. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12040852>



63. Ahmad, Z., Rahim, S., Zubair, M., Abdul-Ghafar, J. Artificial intelligence (AI) in medicine, current applications and future role with special emphasis on its potential and promise in pathology: present and future impact, obstacles including costs and acceptance among pathologists, practical and philosophical considerations. *Diagn Pathol*, 2021;16(1):24. doi: 10.1186/s13000-021-01085-4.

64. Heinz CN, Echle A, Foersch S, Bychkov A, Kather JN. The future of artificial intelligence in digital pathology - results of a survey across stakeholder groups. *Histopathology*. 2022;80:1121-27. <https://doi.org/10.1111/HIS.14659>

65. Guastafierro, V., Corbitt, D. N., Bressan, A., Fernandes, B., Mintemur, Ö., Magnoli, F., Ronchi, S., La Rosa, S., Uccella, S., Renne, S. L. Unveiling the risks of ChatGPT in diagnostic surgical pathology. *Virchows Arch*. 2024;488(4):663-673. doi: 10.1007/s00428-024-03918-1.