

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-58-22>

УДК 004.032.2

Горкуненко Андрій Борисович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-2021-006X>

Сверстюк Андрій Степанович, д.т.н., професор

<https://orcid.org/0000-0001-8644-0776>

Тернопільський національний медичний університет ім. І.Я. Горбачевського, м. Тернопіль, Україна

НАУКОВО-АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В МЕДИЧНІЙ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

Горкуненко А.Б., Сверстюк А.С. Науково-аналітичне дослідження застосування штучного інтелекту в медичній візуалізації. У даній науковій роботі проведено аналітичне дослідження сучасних підходів до застосування штучного інтелекту (ШІ) у медичній візуалізації. Використовуючи базу даних Scopus, здійснено аналіз наукових публікацій за період 2014–2024 років. Визначено ключові тенденції, виклики та перспективи розвитку ШІ у радіології, діагностиці та суміжних напрямках. Дослідження виявило експоненційне зростання кількості наукових праць із середини 2010-х років, що пояснюється розвитком глибокого навчання, зокрема згорткових нейронних мереж (CNN) і трансформерів. Провідними центрами досліджень є установи США та Китаю, основними джерелами фінансування – National Institutes of Health (NIH) та National Natural Science Foundation of China (NSFC). Незважаючи на значні досягнення, актуальними залишаються питання надійності алгоритмів, їхньої інтерпретованості та етичні аспекти. Подальші дослідження спрямовані на покращення точності моделей і їх адаптацію до клінічної практики.

Ключові слова: аналітика, штучний інтелект, медична візуалізація, глибоке навчання, машинне навчання, біомедична інженерія.

Horkunenko A., Sverstiuk A. Scientific and Analytical Study on the Application of Artificial Intelligence in Medical Imaging. This scientific paper presents an analytical study of modern approaches to the application of artificial intelligence (AI) in medical imaging. This study analyzes scientific publications from 2014 to 2024 using the Scopus database. Key trends, challenges, and prospects for AI development in radiology, diagnostics, and related fields were identified. The study revealed an exponential increase in the number of scientific papers since the mid-2010s, which is attributed to the advancement of deep learning, particularly convolutional neural networks (CNN) and transformers. The leading research centers are institutions in the United States and China, with the primary sources of funding being the National Institutes of Health (NIH) and the National Natural Science Foundation of China (NSFC). Despite significant achievements, issues of algorithm reliability, interpretability, and ethical considerations remain relevant. Future research is aimed at improving model accuracy and adapting them to clinical practice.

Keywords: analytics, artificial intelligence, medical imaging, deep learning, machine learning, biomedical engineering.

Вступ. Медична візуалізація є однією з ключових галузей сучасної медицини, яка дозволяє забезпечувати точну діагностику, моніторинг захворювань і планування лікування. Водночас зростання обсягів даних, отриманих з сучасних методів візуалізації, таких як КТ, МРТ, УЗД тощо, ускладнює їх своєчасну та якісну інтерпретацію лікарями. Це створює потребу в автоматизованих системах аналізу, здатних забезпечити високу точність, швидкість і надійність у прийнятті рішень. У цьому контексті штучний інтелект (ШІ) виступає потужним інструментом для розв'язання вказаних проблем [1].

Проте впровадження ШІ у медичну візуалізацію супроводжується низкою викликів. По-перше, складність алгоритмів машинного навчання, таких як згорткові нейронні мережі (CNN) і трансформери, часто призводить до проблеми їх інтерпретованості, що ускладнює використання цих моделей у клінічній практиці. Лікарі повинні розуміти, як і чому ШІ приймає певні рішення, оскільки це напряму впливає на довіру до системи [2].

По-друге, існує проблема стандартизації та валідації алгоритмів ШІ. Для їх застосування у реальній клінічній практиці необхідні чіткі протоколи оцінки ефективності та безпеки. Відсутність узгоджених стандартів перешкоджає масовому впровадженню технологій ШІ у різних країнах та установах [3].

Також важливим залишається питання доступності високоякісних медичних даних, що є критично необхідними для навчання ШІ. Дані мають бути не лише достатньо об'ємними, а й відповідати вимогам щодо точності розмітки та збереження конфіденційності. Це накладає додаткові технічні й етичні вимоги до використання ШІ у медицині [4].

Нарешті, інтеграція ШІ у клінічну практику потребує врахування етичних аспектів, зокрема збереження приватності пацієнтів та визначення відповідальності за рішення, прийняті алгоритмами. Ці питання мають бути розв'язані задля підвищення довіри з боку медичної спільноти та пацієнтів [5].

Таким чином, наукова проблема полягає у необхідності системного аналізу сучасного стану застосування ШІ у медичній візуалізації, подолання зазначених викликів та формування стратегій для оптимального використання цих технологій у медицині [6].

Мета роботи. Метою дослідження є проведення науково-аналітичного дослідження сучасних підходів та перспектив застосування штучного інтелекту в медичній візуалізації, що включає огляд і систематизацію актуальних наукових публікацій, визначення ключових тенденцій, викликів і можливостей для подальшого розвитку, а також аналіз клінічних, технічних та інноваційних аспектів використання ШІ у радіології, діагностиці й суміжних напрямках.

Теоретична частина. Для оцінювання актуальності досліджень методів машинного навчання та їх використання в дослідженні даного питання в наукометричній базі Scopus було сформульовано аналітичний запит, який включає ключові терміни, пов'язані з медичною візуалізацією, різними методами візуалізації, а також технологіями штучного інтелекту: (ALL("Medical imaging") OR ALL("Medical image") OR ALL("Medical visualization") OR ALL("Diagnostic imaging") OR ALL("Clinical imaging") OR ALL("Healthcare imaging") OR ALL("Radiological imaging") OR ALL("Biomedical imaging")) AND (ALL("MRI") OR ALL("CT Scan") OR ALL("Ultrasound") OR ALL("Nuclear medicine") OR ALL("Radiology") OR ALL("Image segmentation") OR ALL("Organ segmentation") OR ALL("Tumor segmentation") OR ALL("Lesion segmentation") OR ALL("Pathology detection") OR ALL("Anomaly detection") OR ALL("Tumor detection") OR ALL("3D modeling") OR ALL("3D visualization") OR ALL("Volumetric analysis") OR ALL("Organ reconstruction") OR ALL("Surgical planning") OR ALL("PET") OR ALL("SPECT") OR ALL("Radiography") OR ALL("X-ray fluorescence") OR ALL("X-ray") OR ALL("Fluoroscopy") OR ALL("Mammography") OR ALL("OCT") OR ALL("Spectroscopy")) AND (ALL("Artificial Intelligence") OR ALL("Machine Learning") OR ALL("Deep Learning") OR ALL("Neural Networks") OR ALL("Convolutional Neural Networks") OR ALL("U-Net") OR ALL("Image processing") OR ALL("Automated analysis") OR ALL("Pattern recognition"))).

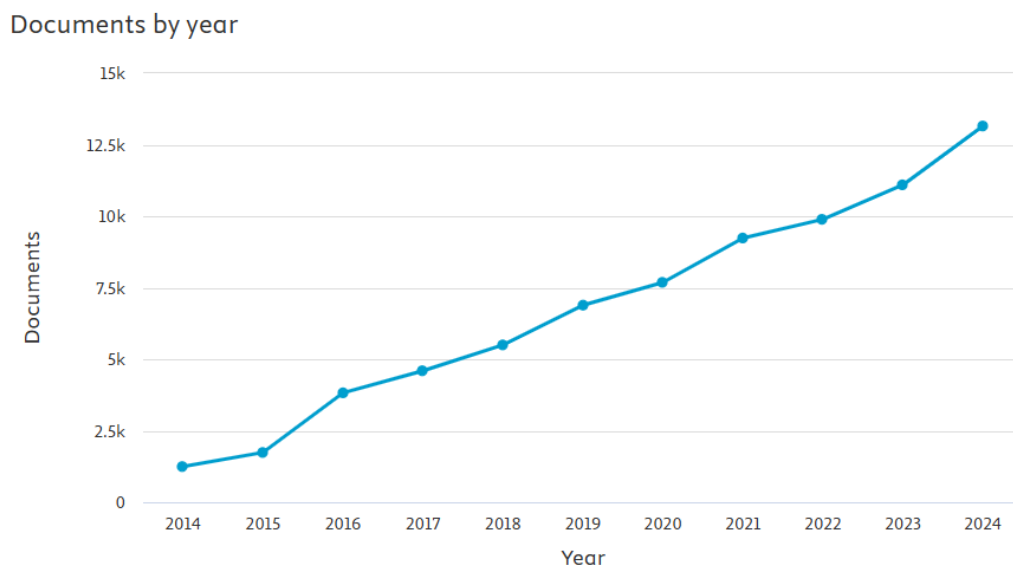


Рис.1 – Динаміка кількості наукових публікацій, присвячених застосуванню штучного інтелекту в медичній візуалізації (2014–2024)

На основі аналізу представленого графіка (рис. 1) спостерігається стійка тенденція зростання кількості наукових публікацій у період з 2014 по 2024 рік. Загальна кількість документів, що містять інформацію про застосування штучного інтелекту в медичній візуалізації, демонструє експоненціальне зростання, що свідчить про зростаючий науковий інтерес до цієї тематики.

Зокрема, на початку аналізованого періоду (2014–2015 рр.) обсяг наукових робіт був відносно невеликим, проте вже з 2016 року спостерігається значне зростання. Подальший період (2017–2020 рр.) характеризується стабільним приростом кількості публікацій, що може бути пов'язано із впровадженням нових алгоритмів глибокого навчання, зокрема нейронних мереж. У 2021–2024 роках відзначається прискорення темпів зростання, що, ймовірно, є наслідком активного

застосування штучного інтелекту в клінічній практиці, появи високоточних методів аналізу зображень та розширення міжнародної співпраці в цій сфері.

Documents per year by source

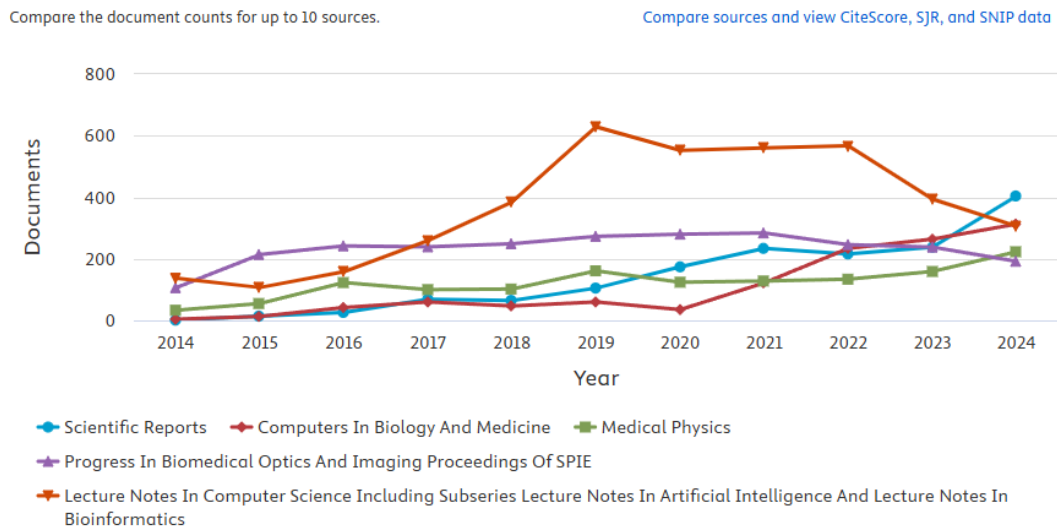


Рис.2 – Динаміка кількості наукових публікацій за джерелами у сфері застосування штучного інтелекту в медичній візуалізації (2014–2024).

На наведеному графіку (рис. 2) зображено динаміку кількості наукових публікацій із тематики застосування штучного інтелекту в медичній візуалізації (2014–2024), розподілених за п'ятьма джерелами: Scientific Reports (синя лінія), Computers in Biology and Medicine (червона), Medical Physics (зелена), Progress in Biomedical Optics and Imaging Proceedings of SPIE (фіолетова) та Lecture Notes in Computer Science (помаранчева). Видно, що у більшості джерел спостерігається загальна тенденція до зростання публікацій, але з різною інтенсивністю: наприклад, Computers in Biology and Medicine та Lecture Notes in Computer Science демонструють пікові значення близько 2019 року, після чого показники або знижуються, або стабілізуються, тоді як Scientific Reports нарощує обсяги поступово і в останні роки виходить на значно вищий рівень, а Medical Physics та Progress in Biomedical Optics and Imaging зберігають відносно рівний перебіг, відображаючи стабільний інтерес фахівців до цих напрямів досліджень.

Documents by author

Compare the document counts for up to 15 authors.

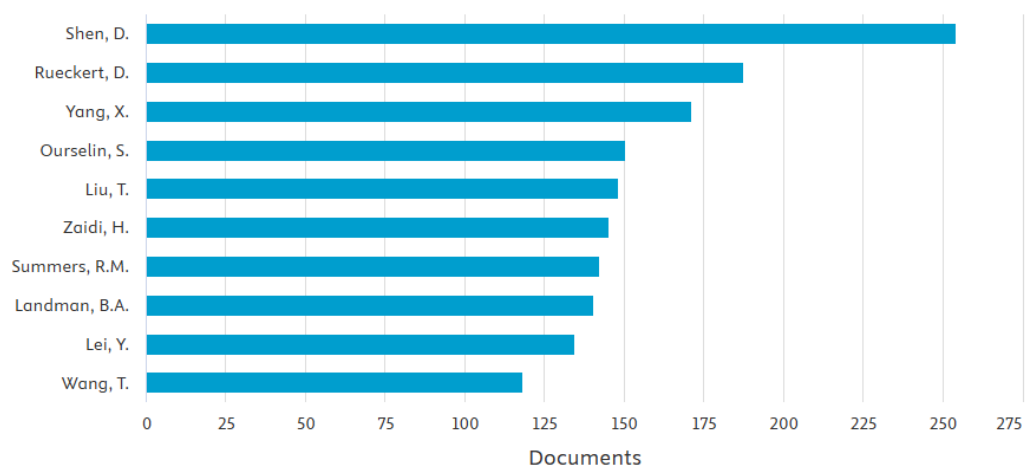


Рис.3 – Найпродуктивніші автори у сфері досліджень застосування штучного інтелекту в медичній візуалізації за кількістю публікацій.

На стовпчиковій діаграмі (рис. 3) показано кількість наукових публікацій (по осі абсцис) для провідних авторів, які досліджують застосування штучного інтелекту в медичній візуалізації (по осі

ординат). Лідером за кількістю документів є Shen D., чий показник перевищує 250 праць. Друге місце посідає Rueckert D. із приблизно 200 публікаціями. Далі йдуть Yang X. та Ourselin S., кожен із яких має понад 100 документів, проте помітно відстають від двох лідерів. Близькими за значеннями розмістилися Liu T., Zaidi H. і Summers R.M., їхні показники коливаються в межах 80–100 публікацій. Landman B.A. та Lei Y. демонструють дещо нижчу активність (близько 60–70 праць кожен), тоді як Wang T. (попри те, що зображений останнім у списку) сягає відмітки понад 100 публікацій, що свідчить про його вагомий внесок у дослідження ШІ в медичній візуалізації.

Documents by affiliation

Compare the document counts for up to 15 affiliations.

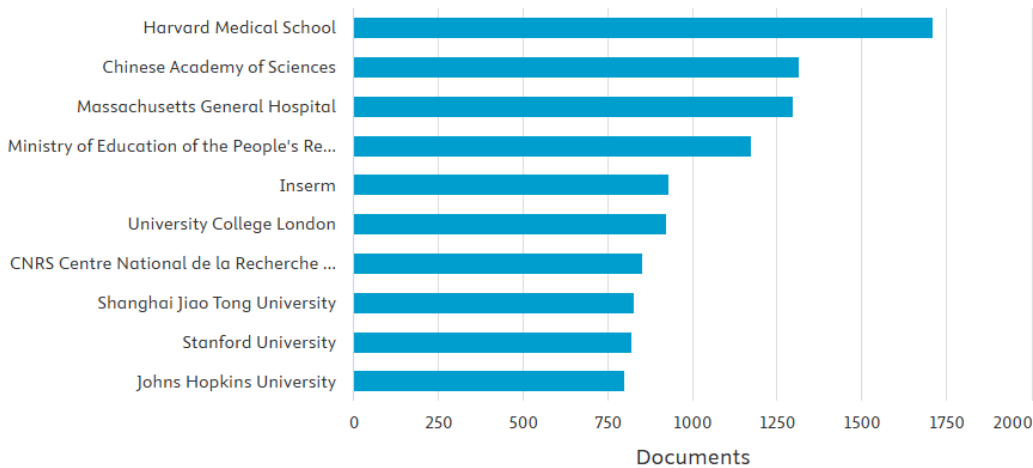


Рис.4 – Найпродуктивніші наукові установи у сфері досліджень застосування штучного інтелекту в медичній візуалізації за кількістю публікацій.

На стовпчиковій діаграмі (рис. 4.) зображено кількість наукових публікацій, пов'язаних із застосуванням штучного інтелекту в медичній візуалізації, розподілених за провідними науковими установами (по осі ординат). Лідером серед них є Harvard Medical School із показником, що наближається до 2000 документів, за яким із відривом слідує Chinese Academy of Sciences. Приблизно схожі результати демонструють Massachusetts General Hospital та Ministry of Education of the People's Republic of China — кожен із них має показники в районі 1000–1200 публікацій. Дещо менші, але все одно вагомні обсяги дослідницьких праць спостерігаються у Inserm, University College London та CNRS. Решта університетів і дослідницьких установ, як-от Shanghai Jiao Tong University, Stanford University та Johns Hopkins University, мають подібний рівень активності, що свідчить про широке міжнародне залучення до досліджень штучного інтелекту у медичній візуалізації.

Documents by type

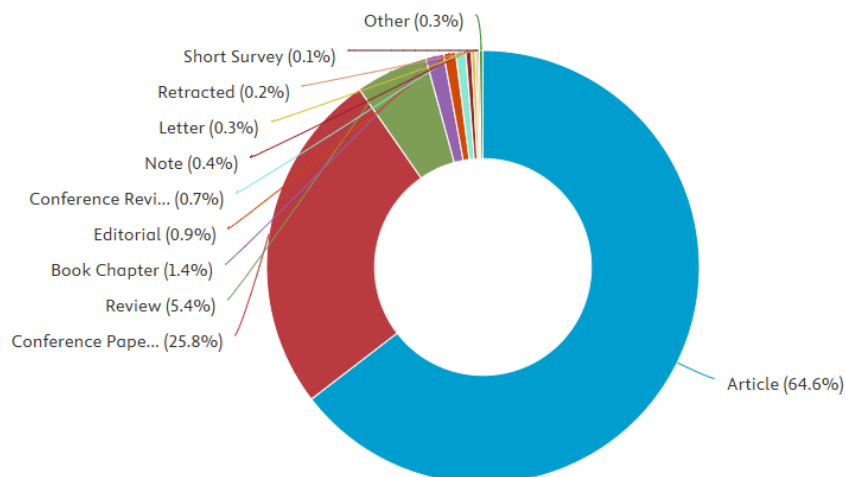


Рис.5 – Розподіл наукових публікацій за типами у сфері досліджень штучного інтелекту в медичній візуалізації.

На діаграмі (рис. 5) представлено розподіл публікацій про ШІ в медичній візуалізації за типами документів. Найбільшу частку (64,6%) становлять наукові статті, що є базовим форматом публікації результатів досліджень. Друге місце посідають тези конференцій (25,8%), підкреслюючи важливість наукових заходів для оперативного обговорення нових знахідок. Огляди (5,4%) свідчать про потребу в узагальненні знань, а розділи книг (1,4%) та редакційні статті (0,9%) доповнюють загальну картину ширшої наукової комунікації. Решта типів документів (зокрема, конференційні огляди, замітки, листи, відкликані публікації, короткі опитування та інші) сумарно не перевищують 2%, демонструючи доволі обмежене поширення у порівнянні з основними форматами.

Documents by subject area

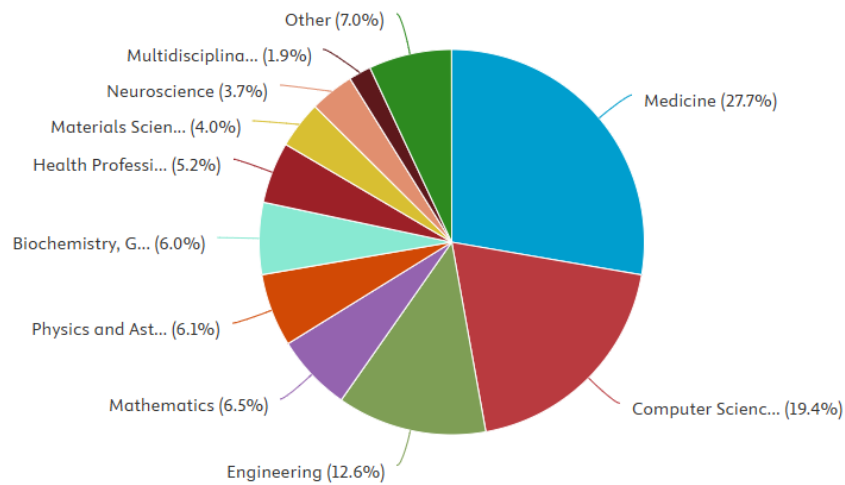


Рис.6 – Розподіл наукових публікацій за галузями знань у сфері досліджень штучного інтелекту в медичній візуалізації.

На круговій діаграмі (рис. 6) відображено розподіл наукових публікацій із тематики ШІ в медичній візуалізації за предметними областями. Найбільша частка (27,7%) належить медичним дисциплінам, що цілком логічно, зважаючи на домінування клінічних застосувань у цій сфері. Друге та третє місця посідають комп'ютерні науки (19,4%) та інженерія (12,6%), підкреслюючи важливість методів обчислювальної обробки зображень. Значущі частки припадають також на математику (6,5%), фізику та астрономію (6,1%) і біохімію, генетику та молекулярну біологію (6,0%), що свідчить про розмаїття міждисциплінарних підходів. Тим часом інші галузі (зокрема, нейронауки, матеріалознавство, мультидисциплінарні дослідження та ін.) сумарно становлять приблизно 16%, відображаючи широку зацікавленість у застосуванні штучного інтелекту для вирішення різноманітних наукових і практичних завдань.

На стовпчовій діаграмі (рис. 7) зображено найбільших спонсорів досліджень, присвячених штучному інтелекту в медичній візуалізації, за кількістю пов'язаних публікацій. Лідерські позиції посідають National Institutes of Health (США) та National Natural Science Foundation of China, кожен із яких перевищує позначку 8000 документів. Дещо менша, але все ж вагома кількість публікацій припадає на U.S. Department of Health and Human Services і Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China. Наступними йдуть National Cancer Institute (США), European Commission, National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering та National Key Research and Development Program of China, а National Science Foundation і National Research Foundation of Korea демонструють відносно менші показники. Такий розподіл свідчить про активну фінансову підтримку з боку національних урядових агентств США та Китаю, а також міжнародних і європейських організацій, що забезпечує широкий масштаб досліджень і розробок у галузі штучного інтелекту для медичної діагностики.

Documents by funding sponsor

Compare the document counts for up to 15 funding sponsors.

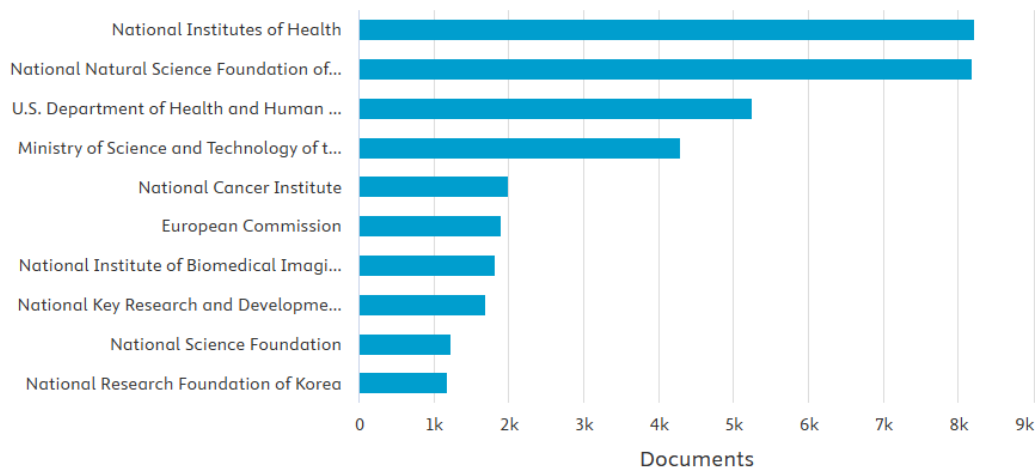


Рис.7 – Найбільші джерела фінансування досліджень у сфері застосування штучного інтелекту в медичній візуалізації за кількістю публікацій.

Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.

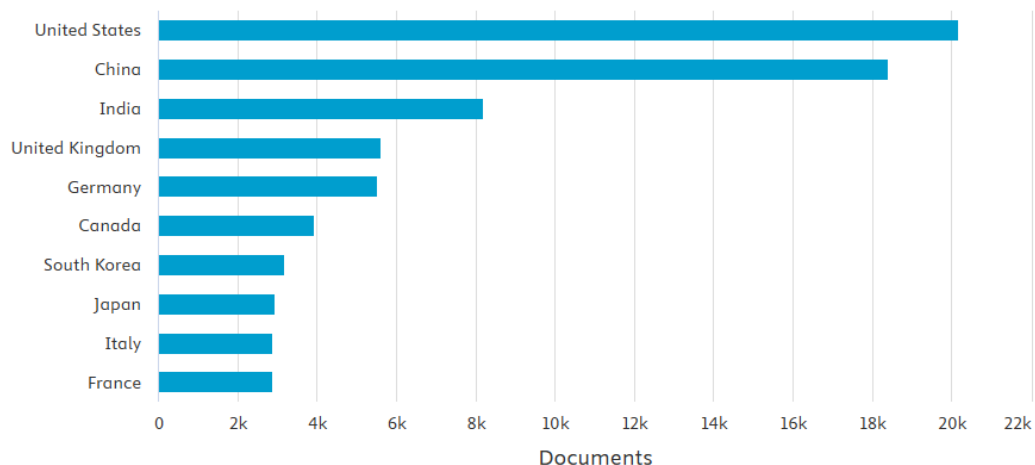


Рис.8 – Розподіл наукових публікацій у сфері застосування штучного інтелекту в медичній візуалізації за країнами.

На стовпчиковій діаграмі (рис. 8) відображено кількість публікацій, присвячених штучному інтелекту в медичній візуалізації, розподілених за країнами/територіями. Лідером виступають Сполучені Штати з показником понад 20 тисяч документів, за ними йде Китай із приблизно 19 тисячами. Індія посідає третє місце (близько 10 тисяч), тоді як Велика Британія та Німеччина розміщуються на четвертій і п'ятій позиціях відповідно. Дещо менші, але все ж помітні обсяги публікацій спостерігаються у Канади, Південної Кореї, Японії, Італії та Франції, що вказує на активне залучення як великих, так і відносно менших науково-дослідницьких центрів із різних континентів.

Висновки. Проведене дослідження засвідчує динамічний розвиток сфери застосування штучного інтелекту в медичній візуалізації, про що свідчить експоненційне зростання кількості наукових публікацій протягом останнього десятиліття. Зазначені темпи зумовлені передусім стрімким прогресом у методах глибинного навчання, включно з алгоритмами згорткових нейронних мереж і трансформерів, а також розширенням обчислювальних можливостей. Вагомий внесок у дослідження вносять провідні університети та наукові установи США й Китаю, що підтверджується даними про розподіл публікацій і джерел фінансування (зокрема з боку National Institutes of Health та National Natural Science Foundation of China).

Незважаючи на відчутні досягнення, залишається низка важливих викликів: забезпечення надійності та відтворюваності результатів, підвищення інтерпретованості моделей і дотримання етичних норм, особливо щодо приватності даних пацієнтів. Подальші дослідження мають бути зосереджені на адаптації розроблених алгоритмів до широкої клінічної практики, інтеграції з різними видами медичних зображень та вдосконаленні методів комбінування мультидисциплінарних підходів (медицина, комп'ютерні науки, інженерія). Усе це створює передумови для формування більш надійних, чутливих і точних систем, здатних радикально підвищити ефективність діагностики й лікування пацієнтів.

Список бібліографічного опису

1. Litjens, G., Kooi, T., Bejnordi, B. E., Setio, A. A. A., Ciompi, F., Ghafoorian, M., ... & Sánchez, C. I. A survey on deep learning in medical image analysis. *Medical image analysis*, 2017, 42, pp. 60–88.
2. Добровська, Л. М., & Хімичук, А. Ю. Аналіз медичних зображень на базі згорткової нейронної мережі. *Науковий вісник НЛТУ України*, 2018, 28(8), С. 123–128.
3. Висоцький, А. А., Суріков, О. О., & Василюк-Зайцева, С. В. Розвиток штучного інтелекту в сучасній медицині. *Український медичний часопис*, 2023, (2), С. 68–72.
4. Шатайло, В. А., & Черневський, Н. О. (2022). Використання штучного інтелекту в медицині: аналіз даних для діагностики та прогнозування захворювань. *Вісник Вінницького національного технічного університету*, (1), С. 68–72.
5. Pasricha, S. AI ethics in smart healthcare / *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 2022, pp. 1-7. DOI:[10.1109/MCE.2022.3220001](https://doi.org/10.1109/MCE.2022.3220001)
6. Krittanawong, C., Zhang, H., Wang, Z., Aydar, M., & Kitai, T. Artificial intelligence in precision cardiovascular medicine. *Journal of the American College of Cardiology*, 2017, 69(21), pp. 2657–2664.
7. Карпенко, О. В., Карпенко, Ю. В., Кульгінський, Є. А. Застосування технологій штучного інтелекту у реформуванні сфери охорони здоров'я. *Державне управління: удосконалення та розвиток*, 2021, (11). DOI: [10.32702/2307-2156-2021.11.2](https://doi.org/10.32702/2307-2156-2021.11.2).
8. Абубакар, С. А., Сверстюк, А. Аналітичний огляд публікацій по методах машинного навчання в онкології та підхід до оцінювання їх якості / *Комп'ютерні системи та інформаційні технології*. 2024. - № 1, С. 6–16. Хмельницький національний університет. DOI: [10.31891/csit-2024-1-1](https://doi.org/10.31891/csit-2024-1-1).

References

1. Litjens, G., Kooi, T., Bejnordi, B. E., Setio, A. A. A., Ciompi, F., Ghafoorian, M., ... & Sánchez, C. I. A survey on deep learning in medical image analysis. *Medical image analysis*, 2017, 42, pp. 60–88.
2. Dobrovska, L. M., & Khimichuk, A. Yu. (2018). Analysis of medical images based on convolutional neural networks. *Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*, 28(8), pp. 123–128.
3. Vysotskyi, A. A., Surikov, O. O., & Vasyliuk-Zaitseva, S. V. (2023). The development of artificial intelligence in modern medicine. *Ukrainian Medical Journal*, (2), pp. 68–72.
4. Shataylo, V. A., & Chernevskiy, N. O. (2022). The use of artificial intelligence in medicine: Data analysis for disease diagnosis and prediction. *Bulletin of Vinnytsia National Technical University*, (1), pp. 68–72.
5. Pasricha, S. (2022). AI ethics in smart healthcare. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, pp. 1–7. DOI:[10.1109/MCE.2022.3220001](https://doi.org/10.1109/MCE.2022.3220001).
6. Krittanawong, C., Zhang, H., Wang, Z., Aydar, M., & Kitai, T. (2017). Artificial intelligence in precision cardiovascular medicine. *Journal of the American College of Cardiology*, 69(21), pp. 2657–2664.
7. Karpenko, O. V., Karpenko, Yu. V., & Kulhinskyi, Ye. A. The application of artificial intelligence technologies in the reform of the healthcare sector. *Public Administration: Improvement and Development*, 2021, (11). DOI: [10.32702/2307-2156-2021.11.2](https://doi.org/10.32702/2307-2156-2021.11.2).
8. Abubakar, S. A., Sverstyuk, A. Analytical review of publications on machine learning methods in oncology and approach to evaluating their quality. In *Computer systems and information technologies*. 2024, Issue 1, pp. 6–16. Khmelnytskyi National University. DOI: [10.31891/csit-2024-1-1](https://doi.org/10.31891/csit-2024-1-1).