

УДК 616.314-085:004.8

DOI <https://doi.org/10.11603/2311-9624.2025.3.15873>**Н. В. Манащук**ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6898-1149>**С. В. Чорній**ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2718-5191>**М. С. Залізняк**ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9980-4556>**Х. В. Погорецька**ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6505-6086>**Н. В. Чорній**ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8145-7931>**Л. О. Пацкань**ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2584-5942>

Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського МОЗ України

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У ТЕРАПЕВТИЧНІЙ СТОМАТОЛОГІЇ

N. V. Manashchuk, S. V. Chornij, M. S. Zaliznyak, Kh. V. Pohoretska, N. V. Chornij, L. O. Patskan

Ivan Horbachevsky Ternopil National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THERAPEUTIC DENTISTRY

ІНФОРМАЦІЯ

Електронна адреса
для листування:
manashchukn@tdmu.edu.ua

Отримано: 02.09.2025
Рекомендовано: 30.09.2025
Опубліковано: 27.10.2025

Ключові слова: штучний інтелект; реставрація зубів; ендодонтія; пародонтологія; захворювання слизової ротової порожнини.

АНОТАЦІЯ

Штучний інтелект швидко й радикально трансформує стоматологічну галузь. Його вплив особливо сильно відчувається в здатності миттєво й ефективно аналізувати широкий спектр візуальної інформації при різних стоматологічних захворюваннях.

Метою дослідження було провести огляд літературних даних щодо застосування ШІ в терапевтичній стоматології й оцінити їх із позиції, що засвідчує його все більшу роль у цій галузі.

До огляду включено близько 25 наукових публікацій авторів, сфера інтересів яких стосувалася досліджень використання штучного інтелекту в галузі терапевтичної стоматології. Пошук даних проводився в наукометричних базах PubMed і Google Scholar. Дослідження включало аналіз оригінальних наукових статей, мініоглядів і систематичних оглядів. При цьому зверталась увага на вже наявні дані щодо використання ШІ лікарями-стоматологами, переваги й недоліки та, відповідно, перспективи подальших досліджень.

Матеріали та методи. ШІ та нейронні мережі використовують у реставраційній стоматології для виявлення карієсу або недоліків реставрацій зубів, а також полегшення вибору методу лікування твердих тканин зуба [21]. Він допомагає діагностувати захворювання ендодонта, аналізуючи рентгенограми за ознаками періапікальних уражень, переломів коренів та інших проблем, допомагає в плануванні лікування, оцінюючи такі фактори, як анатомія зуба, ступінь інфікування й дані про пацієнта. У пародонтології технології штучного інтелекту займаються аналізом і порівнянням даних обстеження пацієнта за тривалий час, щоб дати можливість лікарю об'єктивно оцінити клінічну

ситуацію та розробити чіткий, ефективний і персоналізований план лікування [1; 31]. Перспективним є використання штучного інтелекту в онкостоматології, зокрема в питаннях діагностики та лікування раку ротової порожнини й різних передракових станів.

Використання штучного інтелекту, беззаперечно, є величезним прогресом у галузі стоматології. Варто відзначити позитивні моменти цієї методики в підвищенні точності діагностики різних стоматологічних захворювань і підході до планування лікування, зокрема в онкостоматології, де швидкість і точність отримання результатів може зберегти пацієнту життя. Але разом із тим варто зазначити той факт, що штучний інтелект, хоча і є цінним інструментом, проте повинен доповнювати, а не замінювати медичних працівників, адже не повністю є з'ясованими питання можливих помилок і, відповідно, відповідальності за них.

Висновок. Тому, аналізуючи всі дані, можна сказати, що роль клініциста була й повинна залишатися центральною в діагностиці та плануванні лікування, а технологіям штучного інтелекту відводиться роль незамінного помічника.

INFORMATION

Email address
for correspondence:
manashchukn@tdmu.edu.ua

Received: 02.09.2025

Accepted: 30.09.2025

Published: 27.10.2025

Key words: artificial intelligence;
tooth restoration; endodontics;
periodontology; diseases of the
oral mucosa.

ABSTRACT

Artificial intelligence is rapidly and radically transforming the dental industry. Its impact is particularly felt in the ability to instantly and efficiently analyze a wide range of visual information for various dental conditions.

The aim of our study was to conduct a review of the literature on the application of AI in therapeutic dentistry and evaluate it from a perspective that demonstrates its growing role in this field.

This review included about 25 scientific publications by authors whose interests related to research on the use of artificial intelligence in the field of therapeutic dentistry. The data search was conducted in the scientometric databases PubMed and Google Scholar. The study included the analysis of original scientific articles, mini-reviews and systematic reviews. At the same time, attention was paid to the existing data on the use of AI by dentists, the advantages and disadvantages and, accordingly, the prospects for further research.

AI and neural networks are used in restorative dentistry to detect tooth decay or defects in tooth restorations, and to facilitate the choice of a method for treating hard tooth tissue [21].

Materials and methods. It helps diagnose endodontic disease by analyzing radiographs for signs of periapical lesions, root fractures, and other problems, and helps with treatment planning by evaluating factors such as tooth anatomy, degree of infection, and patient data. In periodontology, AI technologies are concerned with the analysis and comparison of long-term patient examination data to enable the physician to objectively assess the clinical situation and develop a clear, effective and personalized treatment plan [1; 31]. The use of artificial intelligence in oncology is promising particular, in matters of diagnosis and treatment of cancer of the oral cavity and various precancerous conditions

The use of artificial intelligence is undoubtedly a huge breakthrough in the field of dentistry. It should be noted the positive aspects of this technique in increasing the accuracy of diagnosis of various dental diseases and the approach to treatment planning. In particular, in oncostomatology, where the speed and accuracy of obtaining results can save the patient's life. But, at the same time, it should be noted the fact that artificial intelligence, although a valuable tool, should complement, not replace, medical professionals.

Conclusions. After all, the issues of possible errors and, accordingly, responsibility for them are not fully clarified. Therefore, analyzing all

the data, we can say that the role of the clinician was and should remain central in diagnostics and treatment planning, and artificial intelligence technologies are assigned the role of an indispensable assistant.

Вступ. Ми живемо в епоху, яка знаменується технологічним розвитком, де штучний інтелект (далі – ШІ) став революційним винаходом, увійшов у багато галузей, що впливають на наше повсякденне життя. Застосуванням його є використання машинного навчання для збору даних з метою вдосконалення прийняття рішень і вибору методів виконання роботи [1; 2]. Ця інноваційна технологія не обминула й галузі охорони здоров'я, покращуючи діагностику захворювань, планування лікування та подальшого ведення пацієнтів [2; 3].

Штучний інтелект швидко й радикально трансформує і стоматологічну галузь. Його вплив особливо сильно відчувається в здатності миттєво й ефективно аналізувати широкий спектр візуальної інформації при різних стоматологічних захворюваннях [3; 4].

Останніми роками ми стали свідками безпрецедентної інтеграції ШІ в різні аспекти стоматологічної практики, від діагностичних процедур і планування лікування до залучення пацієнтів і вирішення адміністративних завдань. Технологічна революція стосується не лише автоматизації. Ідеться про розширення можливостей професійних стоматологів, підвищення точності, покращення результатів лікування пацієнтів, відкриття нових кордонів у стоматологічних дослідженнях та освіті [5; 6].

Шлях ШІ в стоматології був відзначений значними віхами, від використання алгоритмів машинного навчання для аналізу зображень зубів до розробки складних моделей ШІ для прогнозування результатів лікування [7; 8; 9]. Можливості застосування ШІ в стоматології величезні й постійно розширюються. Ці досягнення роблять стоматологічні процедури більш ефективними та сприяють більш персоналізованому підходу й застосуванню превентивних методів до лікування пацієнтів [9; 10].

Мета дослідження – провести огляд літературних даних щодо застосування ШІ в терапевтичній стоматології та оцінити їх із позиції, що засвідчує його все більшу роль у цій галузі.

Методи дослідження. До огляду включено близько 25 наукових публікацій авторів, сфера інтересів яких стосувалася досліджень використання ШІ в галузі терапевтичної стоматології. Пошук даних проводився в науковометричних базах PubMed і Google Scholar. Дослідження включало аналіз оригінальних наукових

статей, мініоглядів і систематичних оглядів. При цьому зверталась увага на вже наявні дані щодо використання ШІ лікарями стоматологами, переваги й недоліки та, відповідно, перспективи подальших досліджень.

Результати дослідження. У стоматології ШІ став трансформаційною силою, яка змінює традиційні практики й уводить нові виміри в діагностику, лікування та подальше ведення пацієнтів [11; 12]. Його застосування охоплює різні етапи стоматологічного прийому:

- аналіз рентгенограм для виявлення патологій твердих тканин зубів і пародонту, перевершуючи звичайні методи як за швидкістю, так і за точністю;

- системи ШІ допомагають розробляти більш ефективні плани лікування, аналізувати величезну кількість даних пацієнтів, включаючи минулі стоматологічні записи, рентгенографічні зображення та навіть генетичну інформацію в деяких випадках;

- інструменти, керовані ШІ, використовуються для персоналізації взаємодії з пацієнтами, від надання індивідуальних рекомендацій щодо гігієни ротової порожнини на основі індивідуальної оцінки ризику до відповідей на запити пацієнтів за допомогою інтелектуальних чат-ботів [12; 13].

У стоматології ШІ переважно використовує два типи нейронних мереж:

- 1) згорткові нейронні мережі (Convolutional Neural Networks – CNN): особливо в обробці візуальних зображень. Вони широко використовуються для аналізу рентгенограм і сканів зубів, де вони можуть ідентифікувати закономірності й аномалії, які не помітні для людського ока. Їх застосовують для виявлення найменших змін у структурі зуба, щільності кісткової тканини та навіть аномалій м'яких тканин;

- 2) штучні нейронні мережі (Artificial Neural Networks – ANNs). Вони імітують функціонування людського мозку та використовуються в різних аспектах стоматології. Ці мережі можуть обробляти численні вхідні дані, від історій хвороби пацієнтів до конкретних стоматологічних показників, допомагаючи в складних процесах прийняття рішень, таких як прогнозування результатів лікування або оцінка ризику певних стоматологічних захворювань [12; 13].

Найвідоміші програми ШІ, що використовуються в терапевтичній стоматології: Overjet AI, Pearl AI (Second Opinion), Diagnocat, dentalXrai Pro.

Overjet AI – ця платформа є однією з перших, що отримала дозвіл для використання в стоматології. Вона автоматично аналізує рентгенівські знімки та розпізнає каріозні ураження, особливо на ранніх їх стадіях, допомагає оцінити ступінь утрати кісткової тканини при пародонтиті, надає кольорові маркування на зображення, що робить діагностику більш наочною для пацієнта.

Pearl AI (Second Opinion) діє як «друга думка», допомагаючи стоматологам підтвердити діагноз, що підвищує їхню впевненість. Програма розпізнає проблеми з тканинами пародонта, твердими тканинами зубів, інфекційні ураження слизової оболонки й інші патології ротової порожнини, допомагає у створенні більш точних та індивідуалізованих планів лікування.

Diagnocat дає змогу провести комплексне рішення для аналізу 2D та 3D зображень, що допомагає діагностувати патології в ендодонтії, пародонтології та реставраційній стоматології, перетворює рентгенівські знімки на прості й зрозумілі звіти з кольоровими виділеннями, що полегшує спілкування з пацієнтами, створює 3D-моделі у форматі STL для використання в інших програмах.

DentalXrai Pro – програма, яка допомагає аналізувати рентгенограми точніше й послідовніше, не замінюючи висновок стоматолога. Значно пришвидшує аналіз рентгенівських знімків, даючи лікарю змогу ефективніше використовувати свій час. Розпізнає аномалії твердих тканин зубів [14; 15; 16].

ШІ зайняв значну нішу в галузі ендодонтії, трансформуючи традиційні практики завдяки своїм передовим можливостям. На етапі діагностики та планування лікування він допомагає діагностувати захворювання ендодонта, аналізуючи рентгенограми за ознаками періапикальних уражень, переломів коренів та інших проблем, допомагає в плануванні лікування, оцінюючи такі фактори, як анатомія зуба, ступінь інфікування й дані про пацієнта [17; 18; 19].

В ендодонтії нейронні мережі можуть бути корисними для прогнозування життєздатності стовбурових клітин пульпи зуба, визначення вимірювань робочої довжини та прогнозування успіху процедур повторного лікування [20; 21].

Аналізуючи детальні зображення, можна точно скласти карту складної анатомії кореневих каналів, що допомагає виявити дрібні анатомічні зміни та патології, які не визначаються звичайними методами, і сприяє більш успішному препаруванню, медикаментозній обробці та пломбуванню [22; 23]. Системи кореневих каналів, навіть з доступними

новітніми досягненнями візуалізації та технічної бази, залишаються складними для лікування об'єктами. У цьому питанні ШІ показав прекрасні результати. Досліджувалися можливості ідентифікації кореневих каналів за даними КПКТ, прицільної рентгенограми та панорамної рентгенограми. Точність ШІ становила від 86,9 % до 95,1 % [23].

Точне визначення робочої довжини є також одним із критичних моментів для успішності проведеного ендодонтичного лікування. Використання штучної нейронної мережі (далі – ШНМ) у питанні визначення робочої довжини кореневого каналу за допомогою даних рентгенографії показало високу результативність, точність якої становила 93–96 % [24; 25]. В іншому дослідженні, щоб визначити довжину кореневого каналу на рентгенологічних знімках за допомогою ШНМ, застосовані ендодонтичні файли. Коректне визначення лікарем зареєстровано в 76 % випадків, тоді як ШІ впорався із завданням із 96 % точністю [25; 26].

Науковці застосували можливості ШІ при діагностиці ускладнень і невдалих результатів при правильно проведеному ендодонтичному лікуванні бічної групи зубів [28; 27], зокрема при вертикальних тріщинах кореня (далі – ВТК), які досить рідко зустрічаються в практиці та зазвичай майже невидимі, з низьким рівнем симптоматики або ж взагалі без неї [29]. Найчастіше ВТК призводять до видалення зуба або ж до процедур гемісекції та сепарації коренів. Вчасне діагностування й виконання відповідних маніпуляцій призводить до успішного збереження зуба в п'ятирічній (94 %) і десятирічній (64 %) перспективі [29]. Точність діагностики з виконанням технологій штучного інтелекту становила від 73 % до 96,6 % відповідно [29; 30].

ШІ й нейронні мережі активно використовують у стоматологічній радіології для полегшення діагностики, планування та прогнозування результатів лікування [30]. У реставраційній стоматології нейронні мережі можуть виявляти приховані форми карієсу, зміни в структурі емалі або недовліки реставрацій зубів, а також полегшити вибір методу лікування карієсу [30].

Його застосування знайшло своє призначення й у пародонтології. Як відомо, захворювання пародонту є поширеними патологічними станами, які турбують багатьох людей по всьому світі, якщо їх не лікувати, це призводить до втрати зубів і низки інших ускладнень, що зумовлює порушення функції жування [30].

Для лікування таких захворювань необхідний скрупульозний медичний огляд

з урахуванням соматичного статусу пацієнта й точна діагностика. Зазвичай додатковими методами обстеження є рентгенографія та конусно-променева комп'ютерна томографія (далі – КПКТ), оцінка яких також у багатьох випадках залежить від досвіду лікаря [31; 32]. У таких випадках технології ШІ займаються аналізом і порівнянням даних обстеження пацієнта за тривалий час, щоб дати можливості лікарю об'єктивно оцінити клінічну ситуацію та розробити чіткий, ефективний і персоналізований план лікування [32]. Дослідження з використання ШІ в пародонтології проводилися в різних напрямках і з різними цілями. Отримані позитивні результати в діагностиці агресивних і хронічних форм перебігу пародонтиту [33]. Окрім цього, його використовують для оцінки втрати кісткової тканини навколо імпланту та прогнозування розвитку переїмплантиту [34].

Проводилося дослідження, у якому тестувалися різні моделі ШІ, такі, як метод опорних векторів (Support Vector Machine (SVM)), дерево ухвалення рішень (Decision Tree (DT)) і штучні нейрони (ШН)). У цьому дослідженні створили коди, що відповідали факторам ризику розвитку захворювань пародонту, дані, які стосувалися пародонту, дані рентгенологічних обстежень тощо [35]. Таким чином, було створено моделі 6 станів тканин пародонту, які відповідали класифікації. DT та SVM системи продемонстрували виключну точність, яка становила 98 %, ШН – 46 % [35]. Проте штучні нейрони добре вирішують завдання даного й специфічного результату сегментації КПКТ та ідентифікації периапікальних утворень [35].

Є дані про ефективне використання ШІ в онкостоматології, зокрема в діагностиці раку ротової порожнини та різних передракових станів. ШІ довів значний потенціал з точки зору точності, чутливості та специфічності [36]. Різні дослідники застосували підхід CNN для виявлення потенційно злоякісних уражень ротової порожнини (OPMDs) і плоскоклітинної карциноми ротової порожнини (OSCC) на внутрішньоротових оптичних зображеннях. Порівняння результатів, отриманих комп'ютерною

системою, з результатами біопсій продемонструвало точність CNN алгоритму на рівні 83 % [37].

Більшість програм працюють за принципом машинного й поглибленого навчання, використовуючи велику кількість даних (рентгенівські знімки, КТ, інтраоральні сканування) для навчання алгоритмів [38].

Програми ШІ в терапевтичній стоматології – це інструменти, що допомагають лікарю, а не замінюють його. Вони підвищують якість діагностики, роблять її більш об'єктивною, покращують планування лікування й ефективність роботи клініки.

Аналіз усіх літературних даних показав, що розвиток ШІ можливий лише в тісному тандемі із сучасними комп'ютерними технологіями. Мова йде про відповідне програмне забезпечення, створення єдиних баз даних пацієнтів, що полегшить діагностику стоматологічних захворювань, беручи до уваги соматичний статус пацієнта. Усі ці аспекти, у свою чергу, потребують вирішення багатьох фінансових і правових проблем.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Використання ШІ, беззаперечно, є величезним проривом у галузі стоматології. Варто відзначити позитивні моменти цієї методики в підвищенні точності діагностики різних стоматологічних захворювань і підході до планування лікування, зокрема в онкостоматології, де швидкість і точність отримання результатів може зберегти пацієнту життя. Але разом із тим варто зазначити той факт, що ШІ, хоча і є цінним інструментом, проте повинен доповнювати, а не замінювати медичних працівників, адже не повністю є з'ясованими питання можливих помилок і, відповідно, відповідальності за них. Тому, аналізуючи всі дані, можна сказати, що роль клініциста була й повинна залишатися центральною в діагностиці та плануванні лікування, а технологіям ШІ відводиться роль незамінного помічника.

Визначивши результати застосування ШІ в терапевтичній стоматології, можемо також підкреслити й необхідність подальших досліджень і вдосконалень для повного використання його можливостей у цій галузі медицини.

Список літератури

- Ahmed N., Abbasi M. S., Zuberi F., Qamar W., Halim M. S. B., Maqsood A., Alam M. K. Artificial Intelligence Techniques: Analysis, Application, and Outcome in Dentistry – A Systematic Review. *Biomed Res Int.* 2021. DOI: 10.1155/2021/9751564
- Bernauer S. A., Zitzmann N. U., Joda T. The Use and Performance of Artificial Intelligence in Prosthodontics: A Systematic Review. *Sensors.* 2021. T. 21, № 19. P. 6628. DOI: 10.3390/s21196628
- Bichu Y. M., Hansa I., Bichu A. Y., Premjani P., Flores-Mir C., Vaid N. R. Applications of artificial intelligence and machine learning in orthodontics: a scoping review. *Prog Orthod.* 2021. T. 22, № 1. P. 18. DOI: 10.1186/s40510-021-00361-9
- Bianchi J., Mendonca G., Gillot M., Oh H., Park J., Turkestani N. A., et al. Three-dimensional digital applications for implant space planning in orthodontics: A narrative review. *J World Fed Orthod.* 2022. T. 11, № 6. P. 207–215. DOI: 10.1016/j.ejwf.2022.10.006
- Bonny T., Al Nassan W., Obaideen K., Al Mallahi M. N., Mohammad Y., El-Damanhoury H. M. Contemporary Role and Applications of Artificial Intelligence in Dentistry. *F1000Res.* 2023. T. 12. P. 1179. DOI: 10.12688/f1000research.140204.1
- Bornes R. S., Montero J., Correia A. R. M., Rosa N. R. D. N. Use of bioinformatic strategies as a predictive tool in implant supported oral rehabilitation: A scoping review. *J Prosthet Dent.* 2023. T. 129, № 2. P. 322.e1–322.e8. DOI: 10.1016/j.prosdent.2022.12.011
- Al Turkestani N., Bianchi J., Deleat-Besson R., Le C., Tengfei L., Prieto J. C., et al. Clinical decision support systems in orthodontics: A narrative review of data science approaches. *Orthod Craniofac Res.* 2021. Suppl. 2. P. 26–36. DOI: 10.1111/ocr.12492.
- Gili T., Di Carlo G., Capuani S., Auconi P., Caldarelli G., Polimeni A. Complexity and data mining in dental research: A network medicine perspective on interceptive orthodontics. *Orthod Craniofac Res.* 2021. Suppl. 2. P. 16–25. DOI: 10.1111/ocr.12520
- Goncharuk-Khomyn M., Noenko I., Cavalcanti A. L., Adigüzel Ö., Dubnov A. Artificial Intelligence in Endodontics: Relevant Trends and Practical Perspectives. *Ukrainian Dent J.* 2023. T. 2, № 1. P. 96–101. DOI: 10.56569/UDJ.2.1.2023.96-101
- Karobari M. I., Adil A. H., Basheer S. N., Murugesan S., Savadamoorthi K. S., Mustafa M., et al. Evaluation of the Diagnostic and Prognostic Accuracy of Artificial Intelligence in Endodontic Dentistry: A Comprehensive Review of Literature. *Comput Math Methods Med.* 2023. 2023:7049360. DOI: 10.1155/2023/7049360
- Ossowska A., Kusiak A., Świetlik D. Artificial Intelligence in Dentistry – Narrative Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2022. T. 19, № 6. P. 3449. DOI: 10.3390/ijerph19063449
- Orhan K., Bayrakdar I. S., Ezhov M., et al. Evaluation of artificial intelligence for detecting periapical pathosis on cone-beam computed tomography scans. *Int Endod J.* 2020. T. 53. P. 680–689. DOI: 10.1111/iej.13265
- Carrillo-Perez F., Pecho O. E., Morales J. C., Paravina R. D., Della Bona A., Ghinea R., et al. Applications of artificial intelligence in dentistry: A comprehensive review. *J Esthet Restor Dent.* 2022. T. 34, № 1. P. 259–280. DOI: 10.1111/jerd.12844
- Ding H., Wu J., Zhao W., Matinlinna J. P., Burrow M. F., Tsoi J. K. H. Artificial intelligence in dentistry – A review. *Front Dent Med.* 2023. T. 4. P. 1085251. DOI: 10.3389/fdmed.2023.1085251
- Geetha V., Aprameya K. S., Hinduja D. M. Dental caries diagnosis in digital radiographs using back-propagation neural network. *Health Inf Sci Syst.* 2020. T. 8. P. 1–14. DOI: 10.1007/s13755-019-0096-y
- Minnema J., Ernst A., van Eijnatten M., Pauwels R., Forouzanfar T., Batenburg K. J., Wolff J. A review on the application of deep learning for CT reconstruction, bone segmentation and surgical planning in oral and maxillofacial surgery. *Dentomaxillofac Radiol.* 2022. T. 51, № 7. P. 20210437. DOI: 10.1259/dmfr.20210437
- Pauwels R., Brasil D. M., Yamasaki M. C., et al. Artificial intelligence for detection of periapical lesions on intraoral radiographs: Comparison between convolutional neural networks and human observers. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2021. T. 131. P. 610–616. DOI: 10.1016/j.oooo.2021.01.018
- Schwendicke F., Samek W., Krois J. Artificial Intelligence in Dentistry: Chances and Challenges. *J Dent Res.* 2020. T. 99, № 7. P. 769–774. DOI: 10.1177/0022034520915714
- Revilla-León M., Gómez-Polo M., Vyas S., Barmak B. A., Gallucci G. O., Att W., Krishnamurthy V. R. Artificial intelligence applications in implant dentistry: A systematic review. *J Prosthet Dent.* 2023. T. 129, № 2. P. 293–300. DOI: 10.1016/j.prosdent.2021.05.008
- Hung K., Montalvao C., Tanaka R., Kawai T., Bornstein M. M. The use and performance of artificial intelligence applications in dental and maxillofacial radiology: A systematic review. *Dentomaxillofac Radiol.* 2020. T. 49, № 1. P. 20190107. DOI: 10.1259/dmfr.20190107
- Hung K. F., Yeung A. W. K., Bornstein M. M., Schwendicke F. Personalized dental medicine, artificial intelligence, and their relevance for dentomaxillofacial imaging. *Dentomaxillofac Radiol.* 2023. T. 52, № 1. P. 20220335. DOI: 10.1259/dmfr.20220335
- Wenzel A. Radiographic modalities for diagnosis of caries in a historical perspective: from film to machine-intelligence supported systems. *Dentomaxillofac Radiol.* 2021. T. 50, № 5. P. 20210010. DOI: 10.1259/dmfr.20210010
- Keskin C., Kele A. Digital Applications in Endodontics. *J Exp Clin Med.* 2021. T. 38, № 3s. P. 168–174.
- Kim B. S., Yeom H. G., Lee J. H., et al. Deep learning-based prediction of paresthesia after third molar extraction: a preliminary study. *Diagnostics.* 2021. T. 11. P. 1572. DOI: 10.3390/diagnostics11091572
- Khanagar S. B., Alfadley A., Alfouzan K., Awawdeh M., Alaqla A., Jamleh A. Developments and Performance of Artificial Intelligence Models Designed for Application in Endodontics: A Systematic Review. *Diagnostics.* 2023. T. 13, № 3. P. 414. DOI: 10.3390/diagnostics13030414
- Liu Z., Liu J., Zhou Z., et al. Differential diagnosis of ameloblastoma and odontogenic keratocyst by machine learning of panoramic radiographs. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2021. T. 16. P. 415–422. DOI: 10.1007/s11548-021-02309-0
- Liu J., Chen Y., Li S., Zhao Z., Wu Z. Machine learning in orthodontics: Challenges and perspectives. *Adv Clin Exp Med.* 2021. T. 30, № 10. P. 1065–1074. DOI: 10.17219/acem/138702
- Machoy M. E., Szyszka-Sommerfeld L., Vegh A., Gedrange T., Woniak K. The ways of using machine learning in dentistry. *Adv Clin Exp Med.* 2020. T. 29, № 3. P. 375–384. DOI: 10.17219/acem/115083
- Nguyen T. T., Larrivée N., Lee A., Bilaniuk O., Durand R. Use of Artificial Intelligence in Dentistry: Current Clinical Trends and Research Advances. *J Can Dent Assoc.* 2021. T. 87. L7.

30. Pethani F. Promises and perils of artificial intelligence in dentistry. *Aust Dent J*. 2021. T. 66, № 2. P. 124–135. DOI: 10.1111/adj.12812
 31. Puladi B., Gsaxner C., Kleesiek J., Hölzle F., Röhrig R., Egger J. The impact and opportunities of large language models like ChatGPT in oral and maxillofacial surgery: a narrative review. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2024. T. 53, № 1. P. 78–88. DOI: 10.1016/j.ijom.2023.09.005
 32. Subramanian A. K., Chen Y., Almalki A., Sivamurthy G., Kafle D. Cephalometric Analysis in Orthodontics Using Artificial Intelligence – A Comprehensive Review. *Biomed Res Int*. 2022. DOI: 10.1155/2022/1880113
 33. Siddiqui T. A., Sukhia R. H., Ghandhi D. Artificial intelligence in dentistry, orthodontics and orthognathic surgery: A literature review. *J Pak Med Assoc*. 2022. Suppl. 1(2). P. S91–S96. DOI: 10.47391/JPM.AKU-18
 34. Thurzo A., Urbanová W., Novák B., et al. Where is the Artificial Intelligence Applied in Dentistry? Systematic Review and Literature Analysis. *Healthcare*. 2022. T. 10, № 7. P. 1269. DOI: 10.3390/healthcare10071269
 35. Hung K., Yeung A. W. K., Tanaka R., Bornstein M. M. Current Applications, Opportunities and Limitations of AI for 3D Imaging in Dental Research and Practice. *Int J Environ Res Public Health*. 2020. T. 17, № 12. P. 4424. DOI: 10.3390/ijerph17124424
 36. Huang H., Zheng O., Wang D., Yin J., Wang Z., Ding S., et al. Chat GPT for shaping the future of dentistry: the potential of multi-modal large language model. *Int J Oral Sci*. 2023. T. 15, № 1. P. 29. DOI: 10.1038/s41368-023-00239-y
 37. Макеев В.Ф., Щерба П.П. Штучний інтелект у стоматології. Частина 1. Сучасна стоматологія. 2024. № 3. С. 95–104. DOI: 10.33295/1992-576X-2024-3-95.
 38. Бульбук О. І., Бульбук О. В., Шутак О. В., Сухоребський Ю. І. Штучний інтелект у сучасній стоматології (огляд літератури). *Art of Medicine*. 2025. T. 2, № 34. С. 101–107. DOI: 10.21802/artm.2025.2.34.101
- References**
1. Ahmed, N., Abbasi, M. S., Zuberi, F., Qamar, W., Halim, M. S. B., Maqsood, A., & Alam, M. K. (2021). Artificial intelligence techniques: Analysis, application, and outcome in dentistry – A systematic review. *Biomed Research International*, 9751564. <https://doi.org/10.1155/2021/9751564>
 2. Bernauer, S. A., Zitzmann, N. U., & Joda, T. (2021). The use and performance of artificial intelligence in prosthodontics: A systematic review. *Sensors*, 21(19), 6628. <https://doi.org/10.3390/s21196628>
 3. Bichu, Y. M., Hansa, I., Bichu, A. Y., Premjani, P., Flores-Mir, C., & Vaid, N. R. (2021). Applications of artificial intelligence and machine learning in orthodontics: A scoping review. *Progress in Orthodontics*, 22(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s40510-021-00361-9>
 4. Bianchi, J., Mendonca, G., Gillot, M., Oh, H., Park, J., Turkestani, N. A., Gurgel, M., & Cevdanes, L. (2022). Three-dimensional digital applications for implant space planning in orthodontics: A narrative review. *Journal of the World Federation of Orthodontists*, 11(6), 207–215. <https://doi.org/10.1016/j.ejwf.2022.10.006>
 5. Bonny, T., Al Nassan, W., Obaideen, K., Al Mallahi, M. N., Mohammad, Y., & El-Damanhoury, H. M. (2023). Contemporary role and applications of artificial intelligence in dentistry. *F1000Research*, 12, 1179. <https://doi.org/10.12688/f1000research.140204.1>
 6. Bornes, R. S., Montero, J., Correia, A. R. M., & Rosa, N. R. D. N. (2023). Use of bioinformatic strategies as a predictive tool in implant supported oral rehabilitation: A scoping review. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 129(2), 322.e1–322.e8. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.12.011>
 7. Al Turkestani, N., Bianchi, J., Deleat-Besson, R., Le, C., Tengfei, L., Prieto, J. C., ... Cevdanes, L. H. S. (2021). Clinical decision support systems in orthodontics: A narrative review of data science approaches. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 24(S2), 26–36. <https://doi.org/10.1111/ocr.12492>
 8. Gili, T., Di Carlo, G., Capuani, S., Auconi, P., Caldarelli, G., & Polimeni, A. (2021). Complexity and data mining in dental research: A network medicine perspective on interceptive orthodontics. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 24(S2), 16–25. <https://doi.org/10.1111/ocr.12520>
 9. Goncharuk-Khomyn, M., Noenko, I., Cavalcanti, A. L., Adigüzel, Ö., & Dubnov, A. (2023). Artificial intelligence in endodontics: Relevant trends and practical perspectives. *Ukrainian Dental Journal*, 2(1), 96–101. <https://doi.org/10.56569/UDJ.2.1.2023.96-101>
 10. Karobari, M. I., Adil, A. H., Basheer, S. N., Murugesan, S., Savadamoorthi, K. S., Mustafa, M., ... Almokhatieb, A. A. (2023). Evaluation of the diagnostic and prognostic accuracy of artificial intelligence in endodontic dentistry: A comprehensive review of literature. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 7049360. <https://doi.org/10.1155/2023/7049360>
 11. Ossowska, A., Kusiak, A., & Świetlik, D. (2022). Artificial intelligence in dentistry – Narrative review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(6), 3449. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063449>
 12. Orhan, K., Bayrakdar, I. S., Ezhov, M., et al. (2020). Evaluation of artificial intelligence for detecting periapical pathosis on cone-beam computed tomography scans. *International Endodontic Journal*, 53, 680–689. <https://doi.org/10.1111/iej.13265>
 13. Carrillo-Perez, F., Pecho, O. E., Morales, J. C., Paravina, R. D., Della Bona, A., Ghinea, R., ... Herrera, L. J. (2022). Applications of artificial intelligence in dentistry: A comprehensive review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 34(1), 259–280. <https://doi.org/10.1111/jerd.12844>
 14. Ding, H., Wu, J., Zhao, W., Matinlinna, J. P., Burrow, M. F., & Tsoi, J. K. H. (2023). Artificial intelligence in dentistry – A review. *Frontiers in Dental Medicine*, 4, 1085251. <https://doi.org/10.3389/fdmed.2023.1085251>
 15. Geetha, V., Aprameya, K. S., & Hinduja, D. M. (2020). Dental caries diagnosis in digital radiographs using back-propagation neural network. *Health Information Science and Systems*, 8, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s13755-019-0096-y>
 16. Minnema, J., Ernst, A., van Eijnatten, M., Pauwels, R., Forouzanfar, T., Batenburg, K. J., & Wolff, J. (2022). A review on the application of deep learning for CT reconstruction, bone segmentation and surgical planning in oral and maxillofacial surgery. *Dentomaxillofacial Radiology*, 51(7), 20210437. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20210437>
 17. Pauwels, R., Brasil, D. M., Yamasaki, M. C., et al. (2021). Artificial intelligence for detection of periapical lesions on intraoral radiographs: Comparison between convolutional neural networks and human observers. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 131, 610–616. <https://doi.org/10.1016/j.o000.2021.01.018>
 18. Schwendicke, F., Samek, W., & Krois, J. (2020). Artificial intelligence in dentistry: Chances and

- challenges. *Journal of Dental Research*, 99(7), 769–774. <https://doi.org/10.1177/0022034520915714>
19. Revilla-León, M., Gómez-Polo, M., Vyas, S., Barmak, B. A., Gallucci, G. O., Att, W., & Krishnamurthy, V. R. (2023). Artificial intelligence applications in implant dentistry: A systematic review. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 129(2), 293–300. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.05.008>
 20. Hung, K., Montalvao, C., Tanaka, R., Kawai, T., & Bornstein, M. M. (2020). The use and performance of artificial intelligence applications in dental and maxillofacial radiology: A systematic review. *Dentomaxillofacial Radiology*, 49(1), 20190107. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20190107>.
 21. Hung, K. F., Yeung, A. W. K., Bornstein, M. M., & Schwendicke, F. (2023). Personalized dental medicine, artificial intelligence, and their relevance for dentomaxillofacial imaging. *Dentomaxillofacial Radiology*, 52(1), 20220335. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20220335>
 22. Wenzel, A. (2021). Radiographic modalities for diagnosis of caries in a historical perspective: From film to machine-intelligence supported systems. *Dentomaxillofacial Radiology*, 50(5), 20210010. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20210010>
 23. Keskin, C., & Kele, A. (2021). Digital applications in endodontics. *Journal of Experimental and Clinical Medicine*, 38(3s), 168–174.
 24. Kim, B. S., Yeom, H. G., Lee, J. H., et al. (2021). Deep learning-based prediction of paresthesia after third molar extraction: A preliminary study. *Diagnostics*, 11, 1572. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11091572>
 25. Khanagar, S. B., Alfadley, A., Alfouzan, K., Awawdeh, M., Alaqila, A., & Jamleh, A. (2023). Developments and performance of artificial intelligence models designed for application in endodontics: A systematic review. *Diagnostics*, 13(3), 414. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13030414>
 26. Liu, Z., Liu, J., Zhou, Z., et al. (2021). Differential diagnosis of ameloblastoma and odontogenic keratocyst by machine learning of panoramic radiographs. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 16, 415–422. <https://doi.org/10.1007/s11548-021-02309-0>
 27. Liu, J., Chen, Y., Li, S., Zhao, Z., & Wu, Z. (2021). Machine learning in orthodontics: Challenges and perspectives. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, 30(10), 1065–1074. <https://doi.org/10.17219/acem/138702>
 28. Machoy, M. E., Szyszka-Sommerfeld, L., Vegh, A., Gedrange, T., & Woniak, K. (2020). The ways of using machine learning in dentistry. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, 29(3), 375–384. <https://doi.org/10.17219/acem/115083>
 29. Nguyen, T. T., Larrivée, N., Lee, A., Bilaniuk, O., & Durand, R. (2021). Use of artificial intelligence in dentistry: Current clinical trends and research advances. *Journal of the Canadian Dental Association*, 87, 17.
 30. Pethani, F. (2021). Promises and perils of artificial intelligence in dentistry. *Australian Dental Journal*, 66(2), 124–135. <https://doi.org/10.1111/adj.12812>
 31. Puladi, B., Gsaxner, C., Kleesiek, J., Hölzle, F., Röhrig, R., & Egger, J. (2024). The impact and opportunities of large language models like ChatGPT in oral and maxillofacial surgery: A narrative review. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 53(1), 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2023.09.005>
 32. Subramanian, A. K., Chen, Y., Almalki, A., & Sivamurthy, G. (2022). Cephalometric analysis in orthodontics using artificial intelligence – A comprehensive review. *Biomed Research International*, 1880113. <https://doi.org/10.1155/2022/1880113>
 33. Siddiqui, T. A., Sukhia, R. H., & Ghandhi, D. (2022). Artificial intelligence in dentistry, orthodontics and orthognathic surgery: A literature review. *Journal of the Pakistan Medical Association*, 72(S1(2)), S91–S96. <https://doi.org/10.47391/JPMA.AKU-18>
 34. Thurzo, A., Urbanová, W., Novák, B., et al. (2022). Where is the artificial intelligence applied in dentistry? Systematic review and literature analysis. *Healthcare*, 10(7), 1269. <https://doi.org/10.3390/healthcare10071269>
 35. Hung, K., Yeung, A. W. K., Tanaka, R., & Bornstein, M. M. (2020). Current applications, opportunities and limitations of AI for 3D imaging in dental research and practice. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(12), 4424. <https://doi.org/10.3390/ijerph17124424>
 36. Huang, H., Zheng, O., Wang, D., Yin, J., Wang, Z., Ding, S., ... Shi, B. (2023). ChatGPT for shaping the future of dentistry: The potential of multimodal large language model. *International Journal of Oral Science*, 15(1), 29. <https://doi.org/10.1038/s41368-023-00239-y>
 37. Makieiev, V. F., & Shcherba, P. P. (2024). Shtuchnyi intelekt u stomatolohii. Chastyna 1 [Artificial intelligence in dentistry. Part 1]. *Suchasna stomatolohiia – Modern Dentistry*, (3), 95–104. <https://doi.org/10.33295/1992-576X-2024-3-95> [in Ukrainian].
 38. Bulbuk, O. I., Bulbuk, O. V., Shutak, O. V., & Sukhorebskyi, Yu. I. (2025). Shtuchnyi intelekt u suchasni stomatolohii (ohliad literatury) [Artificial intelligence in modern dentistry (literature review)]. *Art of Medicine – Art of Medicine*, 2(34), 101–107. <https://doi.org/10.21802/artm.2025.2.34.101> [in Ukrainian].