

Дорошенко О. М., Біда В. І., Волосовець Т. М., Дорошенко М. В.,
Омельяненко О. А., Леоненко П. В., Дорошенко М. М., Андрусенко А. С.

Перспективи застосування штучного інтелекту в стоматології

Національний університет охорони здоров'я імені П. Л. Шупика, м. Київ, Україна

Вступ. В останні роки штучний інтелект (ШІ) знайшов широке застосування в охороні здоров'я та стоматології, де він підвищив точність діагностики та прийняття клінічних рішень. Однак рішення штучного інтелекту в основному не увійшли в повсякденну стоматологічну практику, головним чином через обмежену доступність даних, структуру та комплексність, відсутність методологічної строгості та стандартів у їх розробці й практичні питання щодо цінності та корисності цих рішень, а також через етику та відповідальність. Будь-яке застосування штучного інтелекту в стоматології має демонструвати відчутну цінність, наприклад, покращуючи доступ до медичної допомоги та її якість, підвищуючи ефективність і безпеку послуг, надаючи пацієнтам можливості та підтримуючи медичні дослідження або збільшуючи сталість.

Мета: на підставі аналізу літературних джерел визначити перспективи та доцільність впровадження застосування штучного інтелекту в стоматології.

Матеріали та методи. Інформаційний пошук та аналіз наукових джерел проведено із використанням наукометричних баз *Web of Science*, *PubMed*, *Google Scholar* за останні 10 років.

Висновок. Наступне десятиліття покаже, чи цього разу очікування щодо реальних застосувань штучного інтелекту будуть виправдані, або ж ми знову зіткнемося з «зимою ШІ», яка похолодає надії та ентузіазм. Існують обґрунтовані занепокоєння щодо захисту та безпеки даних, а також передачі важливих медичних рішень комп'ютерам. Водночас штучний інтелект має потенціал здійснити революцію в галузі охорони здоров'я, включаючи стоматологію, допомагаючи усунути недоліки традиційної стоматологічної допомоги, які зазнають гострої критики.

Ключові слова: стоматологія, штучний інтелект, глибоке навчання, діагностика та прийняття клінічних рішень.

Стоматологія є технічно орієнтованою професією, а сектор охорони здоров'я зазнає значного впливу повсюдної тенденції цифровізації. Завдяки стрімкому розвитку інформаційних технологій сьогодні здійсненні абсолютно нові підходи в стоматологічній медицині [1].

Ключовою технологією майбутнього в охороні здоров'я є штучний інтелект (ШІ). Процеси на основі ШІ розглядаються як ключова технологія в медицині та стоматології [2].

Концепцію використання комп'ютерів для моделювання інтелектуальної поведінки та критичного мислення вперше описав Alan Turing у 1950 році [3]. У книзі «Комп'ютери та інтелект» він описав простий тест, який пізніше став відомий як «тест Тюрінга», щоб визначити, чи комп'ютери були здатні до людського інтелекту [4].

Через шість років John McCarthy описав термін штучний інтелект (ШІ) як «науку та техніку створення розумних машин» [5–6]. Штучний інтелект починався як проста серія правил «якщо,

то» і за кілька десятиліть просунувся до складних алгоритмів, які працюють подібно до людського мозку. У штучному інтелекті існує багато підгалузей, подібних до спеціальностей у медицині, таких як машинне навчання (ML), глибоке навчання (DL) і комп'ютерне бачення.

Протягом 70 років були цикли значного оптимізму, пов'язані з розвитком ШІ, які чергувалися з періодами невдач, скороченням фінансування досліджень і песимізмом [7]. Перемога у 2015 році AlphaGo, розробленої Google програми ШІ, над чемпіоном світу «GO» стала проривом. Цей успіх штучного інтелекту над людиною-гравцем викликав подальший розвиток і інтерес, який був піднятий введенням ChatGPT у 2022 році. Ці події послужили попередниками надзвичайного зростання застосувань ШІ в різних сферах, включаючи повсякденне життя та медицину [7].

Машинне навчання (ML) є переважною парадигмою в галузі ШІ. Придуманий Arthur Samuel у 1952 році, ML відрізняється від символічного ШІ,

оскільки він спирається на моделі, отримані на прикладах, а не на попередньо визначені правила, встановлені людьми [8]. Використовуючи статистичні та ймовірнісні методи, машини можуть покращити свою продуктивність, вивчаючи попередні моделі та адаптуючи свої дії, коли вводяться нові дані. Це може включати створення прогнозів, виявлення нових закономірностей або класифікацію нових даних.

Глибоке навчання (DL) — це підмножина ML, яка передбачає, що машини самостійно обчислюють певні характеристики вхідних даних. DL базується на штучних нейронних мережах (АНМ), розроблених у 1990-х роках. Останні досягнення в обчислювальних технологіях дозволили дослідникам створювати складніші нейронні мережі, які називаються «глибшими» мережами, щоб вирішувати дедалі складніші завдання. У сфері медичної візуалізації алгоритми DL переважно використовують згорткові нейронні мережі (CNN) з високою діагностичною точністю [9–10]. Глибоке навчання з двома основними моделями — штучними нейронними мережами з масовим навчанням (MTANN) і згортковими нейронними мережами (CNN) — використовує мережеві структури, що складаються з кількох рівнів, для автоматичного навчання та зворотного поширення самонавчання.

Сучасний відомий підхід полягає в створенні детектора об'єктів за допомогою моделей глибокого навчання, таких як CNN, глибока нейронна мережа (DNN), регіональна CNN (R-CNN), швидкий R-CNN, швидкий R-CNN, масковий R-CNN, You Only Look Once версія 3 (YOLOv3), RetinaNet і Single-Shot Multi-Box Detector (SSD) [11–12].

Алгоритми DL можуть вивчати та ідентифікувати шаблони безпосередньо з необроблених даних, усуваючи потребу в трудомісткій ідентифікації та вилученні ознак. За допомогою методів глибокого навчання можна усунути суб'єктивність, пов'язану з прийняттям рішень людиною, традиційні ручні методи, ймовірно, включатимуть відносно вищий рівень внутрішніх та між спостерігачами помилок через таку суб'єктивність, що може призвести до збільшення помилки передбачення. Подібним чином ці системи можна використовувати для вторинних висновків, щоб підвищити точність діагностики. Проте, лікарі завжди повинні довіряти своїм клінічним судженням.

У сфері діагностичної візуалізації ШІ можна розділити на три основні категорії: операційний ШІ, який покращує надання медичної допомоги; діагностичний ШІ, який допомагає в інтерпретації клінічних зображень; і інтелектуальний інтелект, який прогнозує майбутні результати [13].

Зараз основними цілями ШІ в діагностичній візуалізації є виявлення та сегментація структур

і класифікація патологій [14]. Інструменти штучного інтелекту можуть аналізувати зображення, отримані за допомогою різних методів візуалізації, починаючи від рентгену до МРТ [15–18].

Як і в інших галузях, останніми роками ШІ почав стрімко розвиватися в стоматології. З погляду стоматології застосування штучного інтелекту можна класифікувати як діагностику, прийняття рішень, планування лікування та прогнозування результатів лікування. ШІ використовується для покращення точності та ефективності процесу діагностики, оскільки це є надзвичайно важливим для досягнення найкращих результатів лікування та забезпечення високоякісного догляду за пацієнтами. ШІ може ставити точніші та ефективніші діагнози, таким чином зменшуючи навантаження на стоматологів. З одного боку, стоматологи все більше покладаються на комп'ютерні програми для прийняття рішень. З іншого боку, комп'ютерні програми стають все більш розумними, точними та надійними. Дослідження ШІ поширилися на всі галузі стоматології [19].

Однак рішення штучного інтелекту в основному не увійшли в повсякденну стоматологічну практику, головним чином через: 1) обмежену доступність даних, доступність, структуру та комплексність, 2) відсутність методологічної строгості та стандартів у їх розробці, 3) практичні питання щодо цінності та корисності цих рішень, а також етику та відповідальність. Будь-яке застосування штучного інтелекту в стоматології має демонструвати відчутну цінність, наприклад, покращуючи доступ до медичної допомоги та її якість, підвищуючи ефективність і безпеку послуг, надаючи пацієнтам можливості та підтримуючи медичні дослідження [20].

Технологія штучного інтелекту застосовувалася у дослідженнях з оральної та щелепно-лицевої радіології [21–25], ортодонтії та зубо-лицевої ортопедії [26–27], ендодонтії [29–30], пародонтології [30–32], оральної та щелепно-лицевої хірургії [33] і судової одонтології [34]. Було проведено декілька досліджень із вивчення впровадження машинного навчання в прогнозуванні післяопераційного болю [35], вимірювання втрати кісткової тканини пародонту [36], необхідності видалення зуба при ортодонтичному лікуванні [37].

You W. та ін. використовували модель нейронної мережі штучного інтелекту для оцінки 98 внутрішньоротових зображень молочних зубів на наявність зубного нальоту [10].

Дослідження, проведене Lee J.H. та ін. [38], підкреслило потенційну корисність глибокої архітектури нейронної мережі для виявлення та діагностики карієсу зубів, що забезпечило значну продуктивність у виявленні карієсу зубів на периапікальних рент-

генограмах. Очікується, що глибокі алгоритми нейронної мережі будуть одними з найефективніших і дієвих методів діагностики карієсу зубів.

У нещодавньому комплексному огляді Mohammad-Rahimi H. [39] точність класифікаційних моделей для виявлення карієсу оцінювалася в 48 дослідженнях та дійшло висновку, що моделі глибокого навчання є перспективними для виявлення карієсу та можуть допомогти клінічним робочим процесам. Kim D. створив систему догляду за зубами вдома, використовуючи модель RetinaNet, і повідомив, що система дозволила користувачам ефективно керувати своїми стоматологічними проблемами, надаючи необхідну інформацію про лікування зубів [40]. Estai провів дослідження з використанням Faster R-CNN для автоматичного виявлення карієсу на рентгенограмах. Це дослідження продемонструвало багатообіцяльну ефективність для виявлення карієсу проксимальної поверхні зубних прикусів [41]. Дослідження Moutselos та ін. щодо використання DNN Mask R-CNN для виявлення карієсу на оклюзійних поверхнях показало точність 0,889 % [42]. Інше дослідження застосувало ШІ для виявлення білих плям на фотографіях зубів, повідомляючи про середню точність від 0,81 до 0,84 % [43]. Також доступно кілька готових комерційних програм для виявлення карієсу зубів, наприклад Logicon Caries Detector для стоматологічного моніторингу [44].

Нейронна мережа показала виняткову точність для виявлення вертикального перелому кореня [45]. Дослідники використовували DetectNet з DIGITS версії 5.0 як модель глибокого навчання. Mun SB. та ін. [46] виявили, що ознаки видалення тріснутого зуба можна певною мірою передбачити за допомогою глибокого навчання за допомогою панорамної рентгенографії.

Orhan та ін. [47] повідомили, що система штучного інтелекту досягла точності 92,8 % у виявленні периапікальних уражень на зображеннях КПКТ і не показала статистично значущої різниці в об'ємних вимірюваннях порівняно з ручними методами. Однак також повідомлялося про суперечливі результати, зокрема щодо точності ШІ в оцінці периапікальних уражень [48].

Дослідження Kim E. та ін. [49] мало на меті розробити нову модель глибокого навчання для класифікації відсутніх бічних зубів на панорамних рентгенограмах у дітей віком 8–16 років та оцінити точність. В експериментальній групі точність була найвищою для відсутніх іклів і премолярів, а найменшою — для молярів. Модель глибокого навчання показала помірну або хорошу розрізняльну здатність з ефективністю класифікації 0,730. Ця модель глибокого навчання та нещодавно визначена

область інтересу малого розміру виявилася адекватною для класифікації наявності відсутніх зубів.

Метою дослідження Okazaki S. та ін. [50] була побудова моделі глибокого навчання для класифікації численних зубощелепних аномалій на панорамних рентгенограмах. Щоб класифікувати панорамні рентгенограми за категоріями випадків і контролю, автори використали AlexNet, яка є моделлю згорткової нейронної мережі. AlexNet зміг класифікувати цілі панорамні рентгенограми на два або три класи, залежно від наявності або відсутності зайвих зубів або одонтом. Показники продуктивності класифікації за трьома класами становили 70 %, 70,8 %, 70 % і 69,7 % для точності, чутливості та оцінки F1, відповідно, у середньому макросигналі. Ці результати підтверджують доцільність використання глибокого навчання для виявлення множинних зубних аномалій на панорамних рентгенограмах.

Результати роботи системи глибокого навчання підтвердили можливість повної автоматизації класифікації мезіоденс [51].

ШІ є ідеальним інструментом для розв'язання ортодонтичних проблем. В ортодонтії штучний інтелект має застосування для планування лікування та прогнозування результатів лікування, наприклад, для моделювання змін зовнішнього вигляду фотографій обличчя до та після лікування. Вплив ортодонтичного лікування, структуру скелета та анатомічні орієнтири на бічних цефалограмах можна чітко побачити за допомогою алгоритмів ШІ, що значно сприяє спілкуванню між пацієнтами та стоматологами.

Літературу про використання штучного інтелекту в ортодонтії можна розділити на п'ять основних областей: діагностика та планування лікування, автоматизоване визначення орієнтирів і цефалометричний аналіз, оцінка росту та розвитку, оцінка результатів лікування та різноманітні застосування [52]. Jung та ін. [53] показали точність 92 % за допомогою експертної системи штучного інтелекту для прийняття рішення про видалення постійного зуба, використовуючи бічні цефалометричні рентгенограми. Thanathornwong B. [54] запропонував модель ШІ на основі Байєсової мережі (BN) для оцінки потреби в ортодонтичному лікуванні та довів її ефективність.

Були проведені різні дослідження, щоб продемонструвати ефективність програм ШІ для визначення цефалометричних орієнтирів. Включення CNN може забезпечити точну та надійну систему діагностики скелета [55]. Нещодавнє дослідження Hwang та ін. (2020) [56] дійшло висновку, що автоматизована цефалометрична ідентифікація орієнтирів може бути настільки ж надійною, як і досвідчений читач. Park та ін. [57] порівнювали два найновіші

методи глибокого навчання у своєму дослідженні: You-Only-Look-Once версія 3 (YOLOv3) і Single Shot Multibox Detector (SSD). YOLOv3 продемонстрував вищу точність діагностики та продемонстрував більш ізотропну форму помилок виявлення, ніж SSD. Hwang та ін. [58] дійшли висновку, що ідентифікація цефалометричних орієнтирів штучним інтелектом така ж точна, як і людиною. Таким же чином Kim H. та ін. [59] та Lee J. та ін. [55] визначили з точністю від 88 до 92 %, що експертну систему ШІ можна використовувати для автоматичного визначення цефалометричних орієнтирів. Однак Бао та ін. (2023) [60] нещодавно виявили, що ручне відстеження все ще необхідне для підвищення точності автоматизованого аналізу ШІ, що вказує на важливість ручного контролю.

Скелетний вік, який можна оцінити за допомогою дозрівання шийних хребців (CVM) або рентгенівських променів заїястя, є більш придатним параметром для оцінки індивідуального росту [61]. ШІ має значний потенціал для підвищення точності та надійності оцінки дозрівання шийних хребців (CVM) в ортодонтії [62].

Дослідження, проведене Амасуа Н. та ін. [63] мало на меті розробити п'ять різних моделей класифікаторів керованого машинного навчання (ML) з використанням методів штучного інтелекту і порівняти їх ефективність для аналізу дозрівання шийних хребців (CVM). Серед моделей класифікаторів ступенів CVM найкращий результат був досягнутий за допомогою моделі штучної нейронної мережі, а серед моделей класифікаторів морфології шийних хребців — за допомогою моделі логістичної регресії для наявності увігнутості та моделі дерева рішень для форм тіл хребців. Це дослідження запропонувало моделі ML для оцінки CVM на бічних цефалометричних рентгенограмах, які можна використовувати для прогнозування морфології шийних хребців.

Використовуючи штучний інтелект, комп'ютер може сповіщати стоматолога протягом усього процесу створення цифрового відбитка та допомагати зробити його бездоганним [64]. Окрім того, що ці цифрові зображення є швидшими та точнішими, вони також усувають усі лабораторні процедури, що значно зменшує ймовірність помилок. Використовуючи штучний інтелект, комп'ютер може керувати стоматологом під час створення цифрового відбитка, оптимізувати кінцеве сканування, видаляючи небажані рамки під час сканування, автоматично виявляти межі препарувань і розробляти дизайн реставрації, що імітує анатомію втраченої структури зуба. Комп'ютерне проектування (CAD) Технології автоматизованого виробництва (CAM), такі як субтрактивне фрезерування, та адитивні методи виробництва, такі як 3D-друк, наразі вико-

ристовуються для створення протезів. Він замінив трудомісткий і складний традиційний процес лиття, одночасно значно зменшивши людські помилки в готовому протезі [65].

Імплантологія революціонує рутинну стоматологію, враховуючи останні розробки цифрової стоматології та штучного інтелекту, повсякденна стоматологія стає передбачуваною та захоплюючою [66]. ШІ може допомогти в точному розміщенні зубних імплантатів, враховуючи такі фактори, як щільність кісткової тканини, оклюзійний баланс і естетичні міркування. Штучний інтелект також забезпечує віртуальне моделювання та 3D-моделювання, забезпечуючи стоматологів і пацієнтів візуальними представленнями очікуваних результатів лікування. Це покращує комунікацію та сприяє прийняттю обґрунтованих рішень [67].

Поточне застосування штучного інтелекту в знімній стоматології також демонструє значний потенціал для покращення ортопедичного робочого процесу з високим рівнем точності, про який повідомляється в більшості розглянутих досліджень. Однак основна увага зосереджена на діагностичному етапі, лише деякі дослідження стосуються планування та впровадження лікування [68].

Потенційні перешкоди в сучасних алгоритмах, які перешкоджають рутинному впровадженню штучного інтелекту, включають: відсутність контролю даних; спільного використання та читабельності; нездатність проілюструвати внутрішній процес прийняття рішень; недостатня потужність класичних обчислень; нехтування етичними принципами при розробці структур ШІ [69].

Для майбутніх досліджень необхідно розробити стандартизовану методологію та попередньо визначені показники продуктивності, щоб підвищити загальну надійність і можливість узагальнення алгоритмів глибокого навчання для діагностичних цілей. Мережа EQUATOR доступна для таких вказівок у дослідженнях втручання на основі ШІ. Потреба в такій мережі, специфічній для стоматології, все ще переважає, і наразі вона доступна у формі контрольного списку. Однак згаданий контрольний список не повністю охоплює всі важливі аспекти звітності про інтервенційні дослідження на основі штучного інтелекту та потребує подальшого вдосконалення для широкого застосування моделей DL у стоматології [70].

Необхідно розробити стратегії для створення наборів даних штучного інтелекту, які збираються, керуються та надаються дослідникам по всьому світу у систематичний, безпечний та етичний спосіб. Важливо регулювати процес анотації даних шляхом розробки стандартизованого програмного забезпечення та інструментів, щоб забезпечити

узгодженість атрибутів набору даних і можливість їх використання дослідниками на глобальному рівні.

Наступне десятиліття покаже, чи цього разу очікування щодо реальних застосувань штучного інтелекту будуть виправдані, або ж ми знову зіткнемося з «зимою ШІ», яка поховає надії та ентузіазм. Особливо високі ставки в охороні здоров'я. Існують

обґрунтовані занепокоєння щодо захисту та безпеки даних, а також передачі важливих медичних рішень комп'ютерам. Водночас штучний інтелект має потенціал здійснити революцію в галузі охорони здоров'я, включаючи стоматологію, допомагаючи усунути недоліки традиційної стоматологічної допомоги, які зазнають гострої критики.

ПОСИЛАННЯ

1. Joda, T, Waltimo, T, Probst-Hensch, N, Pauli-Magnus, C, Zitzmann, NU. Health Data in Dentistry: An Attempt to Master the Digital Challenge. *Public Health Genomics*. 2019;22(1–2):1–7. DOI: <https://doi.org/10.1159/000501643>. Epub 2019 Aug 7. PMID: 31390644.
2. Chen, YW, Stanley, K, Att, W. Artificial intelligence in dentistry: current applications and future perspectives. *Quintessence Int*. 2020;51(3):248–257. DOI: <https://doi.org/10.3290/j.qi.a43952>. Erratum in: *Quintessence Int*. 2020;51(5):430. DOI: <https://doi.org/10.3290/j.qi.a44465>. PMID: 32020135.
3. Holmes, J., Sacchi, L., & Bellazzi, R. (2004). Artificial intelligence in medicine. *Ann R Coll Surg Engl*, 86, 334–8. DOI: <https://doi.org/10.1308/147870804290>. PMID: 15333167
4. Greenhill, A. T., & Edmunds, B. R. (2020). A primer of artificial intelligence in medicine. *Techniques and Innovations in Gastrointestinal Endoscopy*, 22(2), 85–89. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tgie.2019.150642>
5. Malik, P., Pathania, M., & Rathaur, V. K. (2019). Overview of artificial intelligence in medicine. *Journal of family medicine and primary care*, 8(7), 2328–2331. PMID: 31463251
6. Hamet, P., Tremblay, J. (2017). Artificial intelligence in medicine. *Metabolism*, 69, S36–S40. PMID: 28126242.
7. Haenlein, M., Kaplan, A. (2019). A Brief History of Artificial Intelligence: On the Past, Present, and Future of Artificial Intelligence. *California Management Review*, 61 (4), 5–14. DOI: <https://doi.org/10.1177/0008125619864925>.
8. Faber, J, Faber, C, Faber, P. Artificial intelligence in orthodontics. *APOS Trends Orthod* 2019;9(4):201–205. DOI: https://doi.org/10.25259/APOS_123_2019
9. Rajpurkar, P, Irvin, J, Ball, RL, Zhu, K, Yang, B, et al. (2018). Deep learning for chest radiograph diagnosis: A retrospective comparison of the CheXNeXt algorithm to practicing radiologists. *PLoS Med*, 15 (11),e1002686. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002686>. PMID: 30457988; PMCID: PMC6245676.
10. Yu, AC., Mohajer, B., Eng, J. (2022). External Validation of Deep Learning Algorithms for Radiologic Diagnosis: A Systematic Review. *Radiol Artif Intell.*, 4(3),e210064. DOI: <https://doi.org/10.1148/ryai.210064>. PMID: 35652114; PMCID: PMC9152694.
11. Prados-Privado, M., García Villalón, J., Hugo Martínez-Martínez, C., et al. (2020). Dental Caries Diagnosis and Detection Using Neural Networks: A Systematic Review. *Journal of Clinical Medicine*, 11, 3579. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm9113579>
12. Haitham, A., Krois, J., Rohrer, C., Mertens, S. et al. (2021). Detecting white spot lesions on dental photography using deep learning: A pilot study. *Journal of Dentistry*, 107: 103615, PMID: 33617941, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103615>.
13. Pianykh, OS., Langs, G., Dewey, M., Enzmann, DR., Herold, CJ., Schoenberg, SO., Brink, JA. (2020). Continuous Learning AI in Radiology: Implementation Principles and Early Applications. *Radiology*, 297 (1), 6–14. DOI: <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200038>. Epub 2020 Aug 25. PMID: 32840473.
14. Milam, ME., Koo, CW. (2023). The current status and future of FDA-approved artificial intelligence tools in chest radiology in the United States. *Clin Radiol.*,78 (2), 115–122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crad.2022.08.135>. Epub 2022 Sep 28. PMID: 36180271.
15. Giełczyk A, Marciniak A, Tarczewska M, Kloska SM, Harmoza A, Serafin Z, Woźniak M. A Novel Lightweight Approach to COVID-19 Diagnostics Based on Chest X-ray Images. *J Clin Med*. 2022 Sep 20;11(19):5501. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm11195501>. PMID: 36233368; PMCID: PMC9571927.
16. Kloska, A., Tarczewska, M., Giełczyk, A., Kloska, SM., Michalski, A., Serafin, Z., Woźniak, M. (2023). Influence of augmentation on the performance of the double ResNet-based model for chest X-ray classification. *Pol J Radiol.*, 88, 244–250. DOI: <https://doi.org/10.5114/pjr.2023.126717>. PMID: 37346422; PMCID: PMC10280365.
17. Matsubara, K., Ibaraki, M., Nemoto, M., Watabe, H., Kimura, Y. (2022). A review on AI in PET imaging. *Ann Nucl Med.*, 36 (2), 133–143. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12149-021-01710-8>. Epub 2022 Jan 14. PMID: 35029818.
18. Wang, B., Jin, S., Yan, Q., Xu, H., Luo, C. et al. (2021). AI-assisted CT imaging analysis for COVID-19 screening: Building and deploying a medical AI system. *Appl Soft Comput.*, 98, 106897. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106897>. Epub 2020 Nov 10. PMID: 33199977; PMCID: PMC7654325.

19. Ding, Hao & Wu, Jiamin & Zhao, Wuyuan & Matinlinna, Jukka & Burrow, Michael & Tsoi, James. (2023). Artificial intelligence in dentistry—A review. *Frontiers in Dental Medicine*. 4. DOI: <https://doi.org/1085251.10.3389/fdmed.2023.1085251>.
20. Schwendicke, F., Samek, W., Krois, J. (2020). Artificial Intelligence in Dentistry: Chances and Challenges. *J Dent Res.*, 99 (7), 769–774. DOI: <https://doi.org/10.1177/0022034520915714>. Epub 2020 Apr 21. PMID: 32315260; PMCID: PMC7309354.
21. Lee, JS., Adhikari, S., Liu, L., Jeong, HG., Kim, H., Yoon, SJ. (2019). Osteoporosis detection in panoramic radiographs using a deep convolutional neural network-based computer-assisted diagnosis system: a preliminary study. *Dentomaxillofac Radiol.*, 48 (1), 20170344. DOI: <https://doi.org/10.1259/dmfr.20170344>. Epub 2018 Jul 13. PMID: 30004241; PMCID: PMC6398904.
22. Zhang, K., Wu, J., Chen, H., Lyu, P. (2018). An effective teeth recognition method using label tree with cascade network structure. *Comput Med Imaging Graph.*, 68, 61–70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compmedimag.2018.07.001>. Epub 2018 Jul 17. PMID: 30056291.
23. Casalegno, F., Newton, T., Daher, R., Abdelaziz, M., Lodi-Rizzini, A., Schürmann, F., Krejci, I., Markram, H. (2019). Caries Detection with Near-Infrared Transillumination Using Deep Learning. *J Dent Res*, 98 (11), 1227–1233. DOI: <https://doi.org/10.1177/0022034519871884>. Epub 2019 Aug 26. PMID: 31449759; PMCID: PMC6761787.
24. Kise, Y., Ikeda, H., Fujii, T., Fukuda, M., Arijii, Y., Fujita, H., Katsumata, A., Arijii, E. (2019). Preliminary study on the application of deep learning system to diagnosis of Sjögren's syndrome on CT images. *Dentomaxillofac Radiol.*, 48 (6), 20190019. DOI: <https://doi.org/10.1259/dmfr.20190019>. Epub 2019 May 22. PMID: 31075042; PMCID: PMC6747436.
25. Ekert, T., Krois, J., Meinhold, L., Elhennawy, K., Emara, R., Golla, T., Schwendicke, F. (2019). Deep Learning for the Radiographic Detection of Apical Lesions. *J Endod.*, 45 (7), 917–922. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.03.016>. Epub 2019 Jun 1. PMID: 31160078.
26. Monill-González, A., Rovira-Calatayud, L., d'Oliveira, NG., Ustrell-Torrent, JM. (2021). Artificial intelligence in orthodontics: Where are we now? A scoping review. *Orthod Craniofac Res.*, 24 (2), 6–15. DOI: <https://doi.org/10.1111/ocr.12517>. Epub 2021 Aug 2. PMID: 34270881.
27. Thanathornwong, B. (2018). Bayesian-Based Decision Support System for Assessing the Needs for Orthodontic Treatment. *Healthc Inform Res.*, 24 (1), 22–28. DOI: <https://doi.org/10.4258/hir.2018.24.1.22>. Epub 2018 Jan 31. PMID: 29503749; PMCID: PMC5820082.
28. Kök H, Acilar AM, İzgi MS. Usage and comparison of artificial intelligence algorithms for determination of growth and development by cervical vertebrae stages in orthodontics. *Prog Orthod.* 2019 Nov 15;20(1):41. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40510-019-0295-8>. PMID: 31728776; PMCID: PMC6856254.
29. Choi HI, Jung SK, Baek SH, Lim WH, Ahn SJ, Yang IH, Kim TW. Artificial Intelligent Model With Neural Network Machine Learning for the Diagnosis of Orthognathic Surgery. *J Craniofac Surg.* 2019 Oct;30(7):1986–1989. DOI: <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000005650>. Erratum in: *J Craniofac Surg.* 2020 Jun;31(4):1156. DOI: <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000006531>. PMID: 31205280.
30. Yu, HJ., Cho, SR., Kim, MJ., Kim, WH., Kim, JW., Choi, J. (2020). Automated Skeletal Classification with Lateral Cephalometry Based on Artificial Intelligence. *J Dent Res.*, 99 (3), 249–256. DOI: <https://doi.org/10.1177/0022034520901715>. Epub 2020 Jan 24. PMID: 31977286.
31. Yauney, G., Rana, A., Wong, LC., Javia, P., Muftu, A., Shah, P. (2019). Automated Process Incorporating Machine Learning Segmentation and Correlation of Oral Diseases with Systemic Health. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.*, 3387–3393. DOI: <https://doi.org/10.1109/EMBC.2019.8857965>. PMID: 31946607.
32. Krois, J., Ekert, T., Meinhold, L., Golla, T., Kharbot, B., Wittemeier, A., Dörfer, C., Schwendicke, F. (2019). Deep Learning for the Radiographic Detection of Periodontal Bone Loss. *Sci Rep.*, 9 (1), 8495. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44839-3>. PMID: 31186466; PMCID: PMC6560098.
33. Zhang, W., Li, J., Li, ZB., Li, Z. (2018). Predicting postoperative facial swelling following impacted mandibular third molars extraction by using artificial neural networks evaluation. *Sci Rep.*, 8 (1), 12281. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29934-1>. PMID: 30115957; PMCID: PMC6095904.
34. Patil, Dr & Vineetha, Ravindranath & Vatsa, Saumya & Shetty, Dasharathraj & Raju, Adithya & Naik, Nithesh & Malarout, Namesh. (2020). Artificial neural network for gender determination using mandibular morphometric parameters: A comparative retrospective study. *Cogent Engineering.* 7. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1723783>.
35. Gao, X., Xin, X., Li, Z., Zhang, W. (2021). Predicting postoperative pain following root canal treatment by using artificial neural network evaluation. *Sci Rep.*, 11 (1), 17243. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96777-8>. PMID: 34446767; PMCID: PMC8390654.
36. Danks, RP., Bano, S., Orishko, A., Tan, HJ., Moreno Sancho, F., D'Aiuto, F., Stoyanov, D. (2021). Automating Periodontal bone loss measurement via dental landmark localisation. *Int J Comput Assist Radiol Surg.*, 16 (7), 1189–1199. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11548-021-02431-z>. Epub 2021 Jun 21. PMID: 34152567; PMCID: PMC8260405.

37. Li, P., Kong, D., Tang, T., Su, D., Yang, P., Wang, H., ... & Liu, Y. (2019). Orthodontic treatment planning based on artificial neural networks. *Scientific reports*, 9 (1), 2037. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38439-w>. PMID: 30765756.
38. Lee, JH., Kim, DH., Jeong, SN., Choi, SH. (2018). Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *J Dent*, 77, 106–111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2018.07.015>. Epub 2018 Jul 26. PMID: 30056118.
39. Mohammad-Rahimi, H., Motamedian, SR., Rohban, MH., Krois, J., Uribe, SE., Mahmoudinia, E., Rokhshad, R., Nadimi, M., Schwendicke, F. (2022). Deep learning for caries detection: A systematic review. *J Dent*, 122, 104115. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104115>. Epub 2022 Mar 30. PMID: 35367318.
40. Kim, D., Choi, J., Ahn, S., Park, E. (2023). A smart home dental care system: integration of deep learning, image sensors, and mobile controller. *J Ambient Intell Humaniz Comput.*, 14 (2), 1123–1131. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12652-021-03366-8>. Epub 2021 Jul 6. PMID: 34249170; PMCID: PMC8259098.
41. Estai, M., Tennant, M., Gebauer, D., Brostek, A., Vignarajan, J., Mehdizadeh, M., Saha, S. (2022). Evaluation of a deep learning system for automatic detection of proximal surface dental caries on bitewing radiographs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.*, 134 (2), 262–270. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2022.03.008>. Epub 2022 Mar 18. PMID: 35534406.
42. Moutselos, K., Berdouses, E., Oulis, C. & Maglogiannis, I. (2019). Recognizing Occlusal Caries in Dental Intraoral Images Using Deep Learning. Conference proceedings: ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference*, 1617–1620. DOI: <https://doi.org/10.1109/EMBC.2019.8856553>.
43. Haitham, Askar, Joachim, Krois, Csaba, Rohrer, et al. (2021). Detecting white spot lesions on dental photography using deep learning: A pilot study, *Journal of Dentistry*, 107, 103615, ISSN 0300-5712, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103615>.
44. DentalMonitoring. Available online: URL: <https://dental-monitoring.com/> (access date: May 21, 2022).
45. Fukuda, M., Inamoto, K., Shibata, N., Arijii, Y., Yanashita, Y., Kutsuna, S., Nakata, K., Katsumata, A., Fujita, H., Arijii, E. (2020). Evaluation of an artificial intelligence system for detecting vertical root fracture on panoramic radiography. *Oral Radiol.*, 36 (4), 337–343. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11282-019-00409-x>. Epub 2019 Sep 18. PMID: 31535278.
46. Mun, SB., Kim, J., Kim, YJ., Seo, MS., Kim, BC., Kim, KG. (2024). Deep learning-based prediction of indication for cracked tooth extraction using panoramic radiography. *BMC Oral Health*, 24 (1), 952. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04721-9>. PMID: 39152384; PMCID: PMC11328441.
47. Orhan, K., Bayrakdar, IS., Ezhov, M., Kravtsov, A., Özyürek, T. (2020). Evaluation of artificial intelligence for detecting periapical pathosis on cone-beam computed tomography scans. *Int Endod J.*, 53 (5), 680–689. DOI: <https://doi.org/10.1111/iej.13265>. Epub 2020 Feb 3. PMID: 31922612.
48. Zadrożny, Ł., Regulski, P., Brus-Sawczuk, K., Czajkowska, M., Parkanyi, L., Ganz, S., Mijiritsky, E. (2022). Artificial Intelligence Application in Assessment of Panoramic Radiographs. *Diagnostics (Basel)*, 12 (1), 224. DOI: <https://doi.org/10.3390/diagnostics12010224>. PMID: 35054390; PMCID: PMC8774336.
49. Kim, E., Hwang, JJ., Cho, BH., Lee, E., Shin J. (2024). Classification of presence of missing teeth in each quadrant using deep learning artificial intelligence on panoramic radiographs of pediatric patients. *J Clin Pediatr Dent*, 48 (3), 76–85. DOI: <https://doi.org/10.22514/jocpd.2024.062>. Epub 2024 May 3. PMID: 38755985.
50. Okazaki, S., Mine, Y., Iwamoto, Y., Urabe, S., Mitsuhata, C., Nomura, R., Kakimoto, N., Murayama, T. (2022). Analysis of the feasibility of using deep learning for multiclass classification of dental anomalies on panoramic radiographs. *Dent Mater J.*, 41 (6), 889–895. DOI: <https://doi.org/10.4012/dmj.2022-098>. Epub 2022 Aug 23. PMID: 36002296.
51. Kim, J., Hwang, JJ., Jeong, T., Cho, BH., Shin, J. (2022). Deep learning-based identification of mesiodens using automatic maxillary anterior region estimation in panoramic radiography of children. *Dentomaxillofac Radiol.*, 51 (7), 20210528. DOI: <https://doi.org/10.1259/dmfr.20210528>. Epub 2022 Jul 13. PMID: 35731733; PMCID: PMC9522977.
52. Bichu, YM., Hansa, I., Bichu, AY., Premjani, P., Flores-Mir, C., Vaid, NR. (2021). Applications of artificial intelligence and machine learning in orthodontics: a scoping review. *Prog Orthod.*, 22 (1), 18. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40510-021-00361-9>. PMID: 34219198; PMCID: PMC8255249.
53. Jung, SK., Kim, TW. (2016). New approach for the diagnosis of extractions with neural network machine learning. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.*, 149 (1), 127–133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.07.030>. PMID: 26718386.
54. Thanathornwong, B. (2018). Bayesian-Based Decision Support System for Assessing the Needs for Orthodontic Treatment. *Healthc Inform Res.*, 24 (1), 22–28. DOI: <https://doi.org/10.4258/hir.2018.24.1.22>. Epub 2018 Jan 31. PMID: 29503749; PMCID: PMC5820082.
55. Lee, JH., Yu, HJ., Kim, MJ., Kim, JW., Choi, J. (2020). Automated cephalometric landmark detection with confidence regions using Bayesian convolutional neural networks. *BMC oral health*, 20,(1):270. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-020-01256-7>. PMID: 33028287.

56. Hwang, HW., Park, JH., Moon, JH., Yu, Y., Kim, H., Her, SB., Srinivasan, G., Aljanabi, MNA., Donatelli, RE., Lee, SJ. (2019). Automated identification of cephalometric landmarks: Part 2—Might it be better than human?. *Angle Orthod.*, 90 (1), 69–76. DOI: <https://doi.org/10.2319/022019-129.1>. Epub 2019 Jul 22. PMID: 31335162; PMCID: PMC8087057.
57. Park, JH., Hwang, HW., Moon, JH., Yu, Y., Kim, H., Her, SB., ... & Lee, SJ. (2019). Automated identification of cephalometric landmarks: Part 1—Comparisons between the latest deep-learning methods YOLOV3 and SSD. *The Angle Orthodontist*, 89 (6), 903–909. DOI: <https://doi.org/10.2319/022019-127.1>. PMID: 31282738.
58. Hwang, HW., Park, JH., Moon, JH., Yu, Y., Kim, H., Her, S. B., ... & Lee, S. J. (2020). Automated identification of cephalometric landmarks: Part 2—Might it be better than human?. *The Angle Orthodontist*, 90 (1), 69–76. DOI: <https://doi.org/10.2319/022019-129.1>. PMID:31335162.
59. Kim, H., Shim, E., Park, J., Kim, Y. J., Lee, U., & Kim, Y. (2020). Web-based fully automated cephalometric analysis by deep learning. *Computer methods and programs in biomedicine*, 194, 105513. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2020.105513>. PMID:32403052.
60. Bao, H., Zhang, K., Yu, C., Li, H., Cao, D., Shu, H., Liu, L., Yan, B. (2023). Evaluating the accuracy of automated cephalometric analysis based on artificial intelligence. *BMC Oral Health*, 23 (1), 191. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-023-02881-8>. PMID: 37005593; PMCID: PMC10067288.
61. Szemraj, A., Wojtaszek-Słomińska, A., Racka-Pilszak, B. (2018). Is the cervical vertebral maturation (CVM) method effective enough to replace the hand-wrist maturation (HWM) method in determining skeletal maturation? — A systematic review. *Eur J Radiol.*, 102, 125–128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.03.012>. Epub 2018 Mar 12. PMID: 29685525.
62. Kazmierczak, W., Jedliński, M., Issa, J., Kazmierczak, N., Janiszewska-Olszowska, J., Dyszkiewicz-Konwińska et al. (2024). Accuracy of Artificial Intelligence for Cervical Vertebral Maturation Assessment-A Systematic Review. *J Clin Med*, 13 (14), 4047. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm13144047>. PMID: 39064087; PMCID: PMC11277636.
63. Amasya, H., Yildirim, D., Aydogan, T., Kemaloglu, N., Orhan, K. (2020) Cervical vertebral maturation assessment on lateral cephalometric radiographs using artificial intelligence: comparison of machine learning classifier models. *Dentomaxillofac Radiol.*, 49 (5), 20190441. DOI: <https://doi.org/10.1259/dmfr.20190441>. Epub 2020 Mar 9. PMID: 32105499; PMCID: PMC7333473.
64. Bonny, T., Al Nassan, W., Obaideen, K., Al Mallahi, MN., Mohammad, Y., El-Damanhoury, HM. (2023). Contemporary Role and Applications of Artificial Intelligence in Dentistry. *F1000Res.*, 12, 1179. DOI: <https://doi.org/10.12688/f1000research.140204.1>. PMID: 37942018; PMCID: PMC10630586.
65. Rezaie, F., Farshbaf, M., Dahri, M., Masjedi, M., Maleki, R., Amini, F., Wirth, J., Moharamzadeh K., Weber, FE., Tayebi, L. (2023). 3D Printing of Dental Prostheses: Current and Emerging Applications. *J Compos Sci*, 7 (2), 80. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcs7020080>. Epub 2023 Feb 15. PMID: 38645939; PMCID: PMC11031267.
66. Sodhi, Asmita., Bansal, Pardeep., Sharma, Akshey. (2023). Esthetics In Implant Dentistry- Prosthetic Considerations Esthetics In Implant Dentistry- Prosthetic Considerations. *UPDENT PUBLISHER*. ISBN: 978-81-19402-06-9.
67. Shan, T., Tay, FR., Gu L. (2021). Application of Artificial Intelligence in Dentistry. *J Dent Res.*, 100 (3), 232–244. DOI: <https://doi.org/10.1177/0022034520969115>. Epub 2020 Oct 29. PMID: 33118431.
68. Ali, IE., Tanikawa, C., Chikai, M., Ino, S., Sumita, Y., Wakabayashi, N. (2024). Applications and performance of artificial intelligence models in removable prosthodontics: A literature review. *J Prosthodont Res.*, 68 (3), 358–367. DOI: https://doi.org/10.2186/jpr.JPR_D_23_00073. Epub 2023 Oct 5. PMID: 37793819.
69. Shan, T., Tay, FR., Gu, L. (2021). Application of Artificial Intelligence in Dentistry. *J Dent Res.*, 100 (3), 232–244. DOI: <https://doi.org/10.1177/0022034520969115>. Epub 2020 Oct 29. PMID: 33118431.
70. Kolbinger, FR., Veldhuizen, GP., Zhu, J., Truhn, D., Kather, JN. (2024). Reporting guidelines in medical artificial intelligence: a systematic review and meta-analysis. *Commun Med (Lond)*, 4 (1), 71. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43856-024-00492-0>. PMID: 38605106; PMCID: PMC11009315.

Prospects for the use of artificial intelligence in dentistry

Doroshenko O., Bida V., Volosovets T., Doroshenko Ma., Omelianenko O., Leonenko P., Doroshenko M., Andrusenko A.

Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Introduction. In recent years, artificial intelligence (AI) has found widespread use in healthcare and dentistry, where it has increased the accuracy of diagnosis and clinical decision-making. However, artificial intelligence solutions have largely not entered everyday dental practice, mainly due to limited data availability, accessibility, structure and complexity, lack of methodological rigor and standards in their development, and practical questions regarding the value and utility of these solutions, but also ethics and liability. Any application

of artificial intelligence in dentistry must demonstrate tangible value, such as improving access and quality of care, increasing efficiency and safety of services, empowering patients and supporting medical research, or increasing sustainability.

Purpose: based on the analysis of literary sources, to determine the prospects and feasibility of implementing the use of artificial intelligence in dentistry.

Materials and methods. Information search and analysis of scientific sources was carried out using scientometric databases *Web of Science, PubMed, Google Scholar* over the last 10 years.

Conclusion. The next decade will show whether this time the expectations for real-world applications of artificial intelligence will be met, or whether we will once again face an «AI winter» that will bury hopes and enthusiasm. There are valid concerns about the protection and security of data and the transfer of important medical decisions to computers. At the same time, artificial intelligence has the potential to revolutionize the health care industry, including dentistry, by helping to address the shortcomings of traditional dental care, which have been heavily criticized.

Keywords: dentistry, artificial intelligence, deep learning, diagnostics and clinical decision-making.

Дорошенко Олена Миколаївна — доктор медичних наук, професор, професор кафедри ортопедичної стоматології, цифрових технологій та імплантології НУОЗ України імені П. Л. Шупика,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8859-3610>

Біда Віталій Іванович — доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри ортопедичної стоматології, цифрових технологій та імплантології, Національного Університету охорони здоров'я України імені П. Л. Шупика,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4499-855X>

Волосовець Тетяна Миколаївна — доктор медичних наук, професор, професор кафедри стоматології НУОЗ України імені П. Л. Шупика,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3961-2456>

Дорошенко Максим Віталійович — кандидат медичних наук, доцент, доцент кафедри стоматології НУОЗ України імені П. Л. Шупика,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2825-6441>

Омельяненко Ольга Анатоліївна — кандидат медичних наук, доцент, доцент кафедри ортопедичної стоматології, цифрових технологій та імплантології НУОЗ України імені П. Л. Шупика,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3989-2160>

Леоненко Павло Вікторович — доктор медичних наук, професор, професор кафедри ортопедичної стоматології НУОЗ України імені П. Л. Шупика,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7145-8260>

Дорошенко Микола Максимович — аспірант кафедри ортопедичної стоматології, цифрових технологій та імплантології НУОЗ України імені П. Л. Шупика,
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1036-6788>

Андрусенко Алла Сергіївна — кандидат медичних наук, доцент, доцент кафедри стоматології НУОЗ України імені П. Л. Шупика,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3237-7051>

Стаття: надійшла до редакції 10.08.2024 р. — прийнята до друку 02.09.2024 р.