

DOI: 10.21802/artm.2025.2.34.101
УДК 616.31-07+616.314-007+ 004.8

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У СУЧАСНІЙ СТОМАТОЛОГІЇ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

О.І. Бульбук, О.В. Бульбук*, О.В. Шутак, Ю.І. Сухоребський

Івано-Франківський національний медичний університет, кафедра ортопедичної стоматології, кафедра стоматології післядипломної освіти, м. Івано-Франківськ, Україна*

ORCID ID: 0000-0001-9229-9334, Scopus ID: 57216633783, e-mail: obulbuk@ifnmu.edu.ua

ORCID ID: 0000-0001-8985-8254, Scopus ID: 57209793543, e-mail: ovbulbuk@ifnmu.edu.ua

ORCID ID: 0009-0003-2874-4378, e-mail: oshutak@ifnmu.edu.ua

ORCID ID: 0009-0007-2077-5515, e-mail: ysukhorebskyu@ifnmu.edu.ua

Резюме. Використання штучного інтелекту (ШІ) у медицині, зокрема стоматології, відкриває нові можливості для точності діагностики, ефективності лікування та управління даними. Основні напрямки застосування ШІ включають машинне навчання, глибоке навчання та комп'ютерний зір.

Метою дослідження є проведення аналізу наукових першоджерел щодо використання ШІ в різноманітних галузях стоматології.

Було здійснено пошук та аналіз наукових публікацій у базах даних PubMed, Scopus, Web of Science та Google Scholar із використанням методів теоретичного узагальнення, формалізації, аналізу та синтезу.

Штучний інтелект виступає трансформаційною силою в сучасній цифровій революції, впливаючи на різні сектори економіки, виконуючи завдання, які зазвичай вимагають людського інтелекту. Цей огляд літератури дає можливість проаналізувати, як штучний інтелект впроваджується у стоматологію та впливає загалом на стоматологічну галузь. ШІ активно використовується у різних галузях стоматології: терапевтичній, ортопедичній, ортодонтиї, пародонтології та ін. Алгоритми глибокого навчання допомагають у діагностиці карієсу, плануванні ортодонтичного лікування, прогнозуванні успішності імплантації та розробці цифрових стоматологічних конструкцій. Виявлено перспективи застосування ШІ для покращення якості діагностики та лікування, а також виклики, пов'язані з етичними та правовими аспектами.

Отже, ШІ є важливим інструментом у стоматології, який може підвищити точність діагностики, оптимізувати лікувальні процеси та зменшити вплив людського фактора. Подальші дослідження необхідні для стандартизації алгоритмів та інтеграції ШІ у клінічну практику.

Ключові слова: штучний інтелект, стоматологія, машинне навчання, глибоке навчання, діагностика, лікування.

Вступ. На сучасному етапі розвитку стоматологія дедалі більше покладається на комп'ютерні програми для прийняття клінічних рішень. Такі програми стають дедалі більш інтелектуальними, точними та надійними. Сьогодні дослідження в галузі штучного інтелекту охоплюють усі аспекти стоматології [1-3].

Існує багато підходів до створення штучного інтелекту (ШІ). Його типи можуть вирішувати різні завдання, тому дослідники пропонують різну класифікацію ШІ. Штучний інтелект – це загальний термін для позначення всього нелюдського інтелекту, який можна поділити на слабкий і сильний. Слабкий ШІ, який також називають вузьким ШІ, використовує програму, навчену вирішувати окремі або специфічні завдання. Сучасний ШІ – це здебільшого слабкий ШІ. Приклади включають навчання з підкріпленням, наприклад, AlphaGo та автоматизовані роботи-маніпулятори; обробку природної мови, наприклад, переклад Google і чат-роботи Amazon; комп'ютерний зір, наприклад, автопілот Tesla і розпізнавання облич; інтелектуальний аналіз даних, наприклад, аналіз клієнтів на ринку і персоналізовані рекомендації контенту в соціальних мережах [4]. Сильний ШІ означає здатність та інтелект ШІ, що дорівнює людському. Він має власну свідомість та поведінку, таку ж гнучку, як і

людина [5]. Сильний ШІ має на меті створити багато-задачний алгоритм для прийняття рішень у різних сферах. Дослідження сильного ШІ повинні бути дуже обережними, оскільки можуть виникнути етичні проблеми, і він може бути небезпечним. Таким чином, на сьогоднішній день не існує жодного застосування сильного ШІ (рис. 1).

Мета дослідження – провести аналіз наукових першоджерел щодо використання ШІ в різноманітних галузях стоматології.

Об'єкт і методи дослідження. Матеріалами роботи були наукові публікації авторів, що проводять свої науково-практичні дослідження в галузі стоматології та штучного інтелекту. Пошук було проведено в наукометричних базах даних «PubMed», «Scopus», «Web of Science», «Google Scholar». Під час проведення дослідження було використано такі наукові методи, як теоретичне узагальнення та групування, формалізація, аналіз, синтез та узагальнення отриманих результатів.

Результати дослідження та їх обговорення. У стоматології застосування ШІ в першу чергу включає алгоритми машинного навчання (ML) і глибокого навчання (DL), які здатні аналізувати великі масиви даних, розпізнавати закономірності і робити прогнози

на основі вивченої інформації. Основні технології ШІ, що використовуються у стоматологічних додатках, включають наступні: контрольоване навчання, неконтрольоване навчання, підкріплення навчання та глибоке навчання. Глибоке навчання наразі є дуже помітним напрямком досліджень і формує підмножину ML. Воно може включати як контрольоване, так і неконтрольоване навчання. «Глибоке» навчання являє собою штучну «нейронну мережу», що складається

щонайменше з трьох вузлових шарів: вхідного, декількох «прихованих» і вихідного, кожен шар складається з різної кількості взаємопов'язаних нейронів. Нейронні мережі (NN) – це біологічно інспіровані мережі, які можна вважати основою алгоритмів глибокого навчання. Існують різні варіації нейронних мереж, серед яких найважливішими є штучні нейронні мережі (ANN), нейронні мережі (CNN) та генеративні змагальні мережі (GAN) [3, 6].

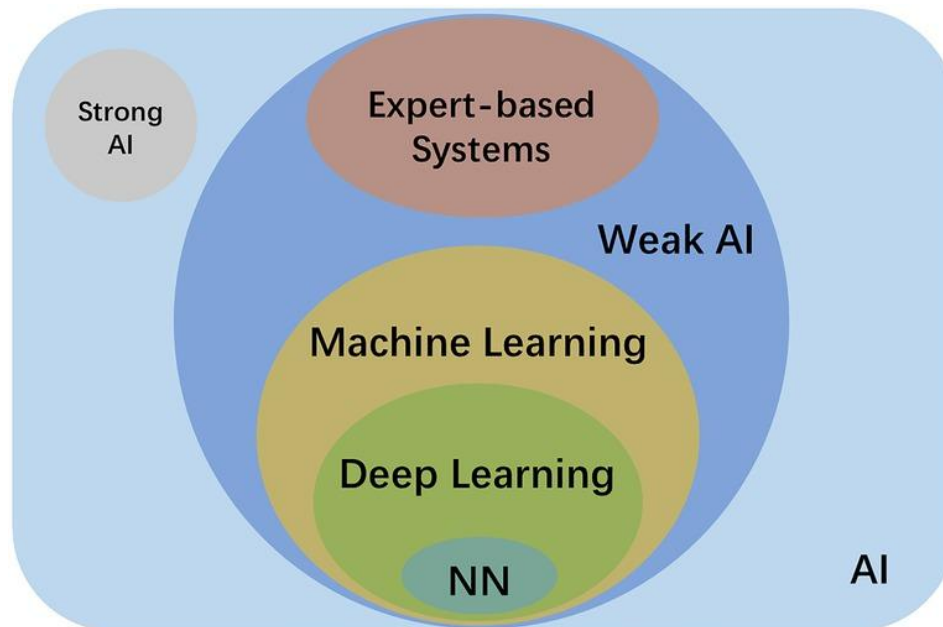


Рис. 1. Схематична діаграма взаємозв'язку між ШІ (сильним ШІ, слабким ШІ, експертними системами, машинним навчанням, глибоким навчанням і нейронними мережами (NN)) [3]

Незважаючи на те, що було опубліковано велику кількість робіт, присвячених стоматологічному ШІ, все ще важко порівнювати у статті з точки зору дизайну дослідження, розподілу даних (наприклад, навчальних, тестових і валідаційних наборів) і продуктивності моделі (тобто точності, чутливості, специфічності). Більшість статей не надали повну інформацію, зазначену вище [3].

Для забезпечення стандартизації, прозорості та корисності застосування ШІ в медицині був запропонований контрольний список MI-CLAIM (Мінімальна інформація про клінічне моделювання штучного інтелекту) [3, 7].

Розглянемо використання ШІ в різних галузях стоматології.

Штучний інтелект в терапевтичній стоматології

Попри те, що рентгенографія та стоматологічний зонд є високонадійними інструментами для діагностики карієсу, значна частина діагностичного процесу залежить від досвіду стоматологів.

У сфері оперативної стоматології дослідження із застосуванням ШІ зосереджені на виявленні карієсу, вертикальних переломів коренів, апікальних уражень, об'ємній оцінці пульпового простору та оцінці стирання зубів [8-13]. На двовимірних (2D) рентгеновських знімках кожен піксель у градаціях сірого відображає щільність об'єкта. Завдяки аналізу таких характеристик алгоритми ШІ можуть навчатися

на цих даних, розпізнавати шаблони та здійснювати прогнозування, наприклад, сегментувати зуби або виявляти карієс [3].

Lee et al. розробили алгоритм CNN для виявлення карієсу на періапікальних рентгенограмах [14]. Kühnisch et al. запропонували алгоритм CNN для виявлення карієсу на внутрішньоротових знімках [15]. Schwendicke et al. порівняли економічну ефективність ШІ у діагностиці апроксимального карієсу з результатами діагностів стоматологів і встановили, що ШІ демонструє вищу ефективність і нижчі витрати [16].

Результати досліджень свідчать, що ШІ має перспективи виявляти ураження на ранніх стадіях з такою ж точністю, а іноді й перевищуючи можливості стоматологів. Це досягнення стало можливим завдяки міждисциплінарній співпраці між ІТ науковцями та клініцистами. Стоматологи вручну маркують рентгеновські знімки, позначаючи локалізацію карієсу, тоді як комп'ютерні науковці створюють набори даних і розробляють алгоритми машинного навчання. Після завершення навчання клініцисти та комп'ютерні науковці разом перевіряють і підтверджують точність і достовірність отриманих результатів [17].

Штучний інтелект у пародонтології

У клінічній практиці діагностика пародонтиту зазвичай базується на оцінці глибини зондування пародонтальних кишень і рецесії ясен. Для кількісної оцінки клінічної втрати прикріплення часто використовується Periodontal Screening Index (PSI). Проте ця

клінічна оцінка має певні обмеження: вона характеризується низькою надійністю [18-20].

У галузі пародонтології штучний інтелект застосовується для діагностики пародонтиту, класифікації можливих типів захворювань та оцінки втрати кісткової тканини на панорамних рентгенограмах. Наприклад, Lee et al. оцінили ефективність і точність алгоритму CNN, запропонованого для автоматичного виявлення зубів із патологією пародонту [21]. У свою чергу, Yaupey et al. стверджують, що стан пародонту може бути проаналізовано за допомогою алгоритму CNN, розробленого їхньою дослідницькою групою, який базується на аналізі системних даних, пов'язаних зі здоров'ям [22].

Штучний інтелект в ортодонтії

Планування ортодонтичного лікування традиційно базується на досвіді та вподобаннях лікарів-ортодонтів. Оскільки кожен пацієнт має індивідуальні особливості, а лікарі-ортоданти користуються різними підходами, рішення про лікування приймаються спільно. Діагностика порушень прикусу вимагає ретельного аналізу багатьох змінних, які враховуються під час цефалометричного аналізу, що ускладнює процес планування лікування та прогнозування його результатів [23].

Штучний інтелект став ефективним інструментом для вирішення складних ортодонтичних задач. У цій галузі ШІ застосовується для планування лікування, прогнозування результатів лікування, моделювання змін зовнішнього вигляду пацієнта на основі фотографій обличчя до і після лікування, аналізу скелетних патернів та анатомічних орієнтирів на бічних цефалометричних знімках [24].

ШІ значно полегшує комунікацію між пацієнтами та лікарями, роблячи складну інформацію більш зрозумілою. В. Thanathornwong розробив систему підтримки прийняття рішень для діагностики необхідності ортодонтичного лікування на основі вхідних даних, пов'язаних із ортодонтією. Хіе et al. запропонували модель ANN для оцінки потреби у видаленні зубів на основі бічних цефалометричних знімків, подібні результати були представлені й іншими дослідниками [3, 25-27].

Крім прогнозування необхідності видалення зубів, ШІ також застосовується для ідентифікації цефалометричних орієнтирів [3, 28-30].

Окрім визначення місцезнаходження цефалометричних орієнтирів та класифікації, системи ШІ активно застосовуються для планування ортодонтичного лікування. Наприклад, Choi et al. створили модель ШІ, яка визначає необхідність хірургічного втручання за даними бічних цефалометричних знімків [31]. Також розроблені кілька алгоритмів ШІ для автоматичної сегментації зубів на 3D-моделях, створених інтраоральними сканерами. Крім того, вони сегментували альвеолярну кістку з ефективністю, яка перевищує роботу рентгенологів (наприклад, алгоритм працював у 500 разів швидше). Їхній алгоритм також виявився ефективним у складних випадках із наявністю зубних аномалій [3, 32-34].

Штучний інтелект у патології ротової порожнини та щелепно-лицевої ділянки

ШІ використовується для виявлення пухлин і злоякісних новоутворень на основі

рентгенографічних, мікроскопічних та ультразвукових зображень, а також для ідентифікації аномальних ділянок на рентгенограмах, таких як нерви порожнини рота, м'язи язика, привушні та малі слинні залози. Алгоритми CNN довели свою ефективність в автоматичному виявленні злоякісних утворень [3, 35-37]. Важливо зазначити, що ШІ відіграє значну роль у менеджменті лікування розщипин губ і піднебіння, включно з оцінкою ризиків, діагностикою, передопераційною ортопедією, аналізом мовлення та хірургічним лікуванням [38].

Рання діагностика та класифікація уражень слизової оболонки на доброякісні чи злоякісні є вкрай важливими. Для злоякісних уражень необхідне хірургічне видалення. Однак деякі ураження мають схожу зовнішню симптоматику, що потребує діагностики на основі біопсійних препаратів і рентгенографій. Патологи традиційно проводять діагностику, спостерігаючи за морфологією забарвлених зразків під мікроскопом. Це трудомісткий процес, який потребує значних зусиль, оскільки лише приблизно 20% біопсій виявляються злоякісними. ШІ може стати ефективним інструментом допомоги патологам у цій діяльності. Різні дослідники застосували підхід CNN для виявлення потенційно злоякісних уражень ротової порожнини (OPMDs) та плоскоклітинної карциноми ротової порожнини (OSCC) на внутрішньоротових оптичних зображеннях. Крім цього, оптична когерентна томографія (ОСТ) була використана для ідентифікації доброякісних і злоякісних уражень слизової оболонки порожнини рота та для диференціації злоякісних і диспластичних уражень ротової порожнини. Порівняння результатів, отриманих комп'ютерною системою, з результатами біопсій продемонструвало точність CNN-алгоритму на рівні 83 % та діагностичний час 38 секунд. Ці показники були співставні з результатами роботи фахівців-стоматологів [3, 39-42].

Штучний інтелект в ортопедичній стоматології

Застосування штучного інтелекту (ШІ) у цій галузі здебільшого зосереджене на етапі проектування реставрацій. Системи CAD/CAM оцифрували процес проектування та отримали комерційну популярність завдяки таким платформам, як CEREC, Sirona, 3Share тощо. Хоча це значно підвищило ефективність процесу завдяки використанню бібліотек форм зубів, технології досі не забезпечують індивідуального підходу для кожного пацієнта [43].

З розвитком ШІ запропоновано нові підходи на основі 2D-GAN моделей для генерації коронок на основі проектів зубних техніків. Навчальні дані включали 2D-карти глибини, перетворені з 3D-моделей зубів. Ding описав розробку 3D-DCGAN мережі для генерації коронок безпосередньо з використанням 3D-даних. Морфологія створених коронок була подібною до природних зубів. Інтеграція ШІ з CAD/CAM або технологіями 3D/4D-друку може забезпечити ефективніший робочий процес. ШІ також використовується для підбору кольору зубів і прогнозування розцементування реставрацій CAD/CAM [3, 44-48].

Окрім незнімних протезів, проектування знімних протезів є більш складним завданням, оскільки потребує врахування більшої кількості факторів і змінних. Жоден алгоритм машинного навчання наразі не

використовується для проектування знімних протезів, хоча були запропоновані експертні (засновані на знаннях) системи. Наявні алгоритми машинного навчання здебільшого спрямовані на допомогу в процесі проектування знімних протезів, зокрема для класифікації зубних дуг і прогнозування зовнішнього вигляду беззубих пацієнтів [3, 49-52].

Успіх ШІ довів, що він здатний навчатися на основі людського досвіду та виходити за його межі. Розвиток ШІ неможливий без розвитку комп'ютерних технологій (програмного забезпечення), обчислювальної потужності (апаратного забезпечення) та великих баз даних (вхідних даних). Завдання машинного навчання пов'язані з 3D-моделями і потребують значних обчислювальних ресурсів для тренування алгоритмів. Наразі обчислювальної потужності може бути недостатньо для роботи з 3D-даними порівняно із завданнями, заснованими на 2D-зображеннях і відео. Таким чином, еволюція застосувань ШІ значною мірою залежить від алгоритмів ШІ, обчислювальної потужності та цифрових навчальних даних.

Моделі машинного навчання (ML) можуть бути корисним інструментом для зберігання та аналізу постійно оновлюваних медичних знань і даних пацієнтів. Алгоритми ML дозволяють виявляти закономірності в діагностичних даних пацієнтів, покращувати медичне лікування, відкривати нові лікарські засоби, впроваджувати прецизійну медицину та знижувати ризик людських помилок.

Тим не менш медичні дані є складними для обробки, оскільки діагностика зазвичай базується на багатьох джерелах. Алгоритми ML потребують великої кількості даних для навчання, які можуть бути схильні до систематичних похибок або бути недоступними. Це може впливати на кінцеві результати. Підвищення точності моделей ML неможливе лише шляхом збільшення обсягу навчальних даних без підвищення їхньої якості. Крім того, медичні дані часто зберігаються в ізольованих системах із обмеженою сумісністю через етичні, правові та організаційні бар'єри.

Висновки. Використання штучного інтелекту саме по собі є значною зміною і має на меті покращити лікування пацієнтів за допомогою нової технології, яка підвищить точність діагностики, а також змінить робочий процес і підхід до планування лікування. Нещодавні дослідження чітко демонструють, що ШІ у стоматології може значно покращити майбутнє, пропонуючи всебічні зручності. Незважаючи на численні переваги, згадані вище, відсутність ґрунтовних досліджень з правових питань, наприклад, хто нести відповідальність за помилки, пов'язані зі штучним інтелектом, або хто перевірятиме діагнози, вказує на те, що алгоритми штучного інтелекту залишатимуться інструментами, які допомагатимуть лікарям, а не замінюватимуть їх. Дослідження ШІ вже займають значне місце в літературі. Запропоновані алгоритми мають на меті зменшити кількість помилок у діагностиці та плануванні лікування для клініцистів, обтяжених великим робочим навантаженням, і звести до мінімуму помилки, спричинені людським фактором. Очікується, що ці системи забезпечать значні переваги з точки зору здоров'я пацієнтів, витрат і часу, особливо в медичних центрах, які стикаються з нестачею лікарів. Здатність ШІ аналізувати необроблені дані також створює

підґрунтя для нової галузі досліджень і прогресу в лікуванні з потенціалом для технологічних і наукових проривів. Ще однією характеристикою ШІ, яка вимагає від фахівців постійного навчання, є те, що ШІ постійно змінюється, тому фахівці повинні прагнути бути завжди вмотивованими, поінформованими і йти в ногу з технологіями. ШІ, як очікується, змінить стоматологію в значущому сенсі, починаючи з поточних можливостей, майбутньої точності і, найголовніше, турботи про пацієнтів.

Перспективи подальших досліджень полягають у практичному значенні вивчення можливості використання ШІ у стоматології.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

References:

- Schleyer TK, Thyvalikakath TP, Spallek H, Torres-Urquidy MH, Hernandez P, Yuhaniak J. Clinical computing in general dentistry. *J Am Med Inform Assoc.* 2006; 13(3):344-52. DOI: 10.1197/jamia.M1990
- Chae YM, Yoo KB, Kim ES, Chae H. The adoption of electronic medical records and decision support systems in Korea. *Health Inform Res.* 2011; 17(3):172-7. DOI: 10.4258/hir.2011.17.3.172
- Ding H, Wu J, Zhao W, Matinlinna JP, Burrow MF and Tsoi JKH. Artificial intelligence in dentistry-A review. *Front. Dent. Med.* 2023; 4:1085251. DOI: 10.3389/fdmed.2023.1085251
- Fang G, Chow MC, Ho JD, He Z, Wang K, Ng T, et al. Soft robotic manipulator for intraoperative MRI-guided transoral laser microsurgery. *Sci Robot.* 2021; 6(57):eabg5575. DOI: 10.1126/scirobotics.abg5575
- Flowers JC. Strong and weak AI: deweyan considerations. *AAAI Spring symposium: towards conscious AI systems.* 2019.
- Semerci ZM, Yardımcı S. Empowering Modern Dentistry: The Impact of Artificial Intelligence on Patient Care and Clinical Decision Making. *Diagnostics.* 2024; 14:1260. Available from: <https://doi.org/10.3390/diagnostics14121260>
- Norgeot B, Quer G, Beaulieu-Jones BK, Torkamani A, Dias R, Gianfrancesco M, et al. Minimum information about clinical artificial intelligence modeling: the MI-CLAIM checklist. *Nat Med.* 2020; 26(9):1320-4. DOI: 10.1038/s41591-020-1041-y
- Huang Y-P, Lee S-Y. An Effective and Reliable Methodology for Deep Machine Learning Application in Caries Detection. *medRxiv.* 2021.
- Fukuda M, Inamoto K, Shibata N, Arijji Y, Yanashita Y, Kutsuna S, et al. Evaluation of an artificial intelligence system for detecting vertical root fracture on panoramic radiography. *Oral Radiol.* 2020; 36(4):337-43. DOI: 10.1007/s11282-019-00409-x
- Vadlamani R. Application of machine learning technologies for detection of proximal lesions in intraoral digital images: in vitro study. Louisville, Kentucky, USA: University of Louisville. 2020. DOI: 10.18297/etd/3519
- Setzer FC, Shi KJ, Zhang Z, Yan H, Yoon H, Mupparapu M, et al. Artificial intelligence for the computer-aided detection of periapical lesions in cone-beam computed tomographic images. *J Endod.* 2020; 46(7):987-93. DOI: 10.1016/j.joen.2020.03.025

12. Jaiswal P, Bhirud S. Study and analysis of an approach towards the classification of tooth wear in dentistry using machine learning technique. IEEE International conference on technology, research, and innovation for betterment of society (TRIBES). IEEE. 2021.
13. Shetty H, Shetty S, Kakade A, Shetty A, Karobari MI, Pawar AM, et al. Threedimensional semi-automated volumetric assessment of the pulp space of teeth following regenerative dental procedures. *Sci Rep.* 2021; 11(1):21914. DOI: 10.1038/s41598-021-01489-8
14. Lee J-H, Kim D-H, Jeong S-N, Choi S-H. Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *J Dent.* 2018; 77:106-11. DOI: 10.1016/j.jdent.2018.07.015
15. Kühnisch J, Meyer O, Hesenius M, Hickel R, Gruhn V. Caries detection on intraoral images using artificial intelligence. *J Dent Res.* 2021; 101(2). DOI: 10.1177/00220345211032524.
16. Schwendicke F, Rossi J, Göstemeyer G, Elhennawy K, Cantu A, Gaudin R, et al. Cost-effectiveness of artificial intelligence for proximal caries detection. *J Dent Res.* 2021; 100(4):369-76. DOI: 10.1177/0022034520972335
17. Chen Y-W, Stanley K, Att W. Artificial intelligence in dentistry: current applications and future perspectives. *Quintessence Int.* 2020; 51(3):248-57. DOI: 10.3290/j.qi.a43952
18. Krois J, Ekert T, Meinhold L, Golla T, Kharbot B, Wittemeier A, et al. Deep learning for the radiographic detection of periodontal bone loss. *Sci Rep.* 2019; 9(1):1-6. DOI: 10.1038/s41598-019-44839-3
19. Bulbuk OI, Hrynishak EB, Bulbuk OV. vynakhidnyky; Ivano-Frankivskiyi natsionalnyi medychnyi universytet, patentovlasnyk. Sposib vyznachennia obiemu defektiv tverdykh tkanyn zubiv. Patent Ukrainy na korysnu model. 2010; 51592.
20. Ozhohan ZR, Bulbuk OI, Buherchuk OV. Klinika, diahnozyka ta ortopedychni metody likuvannia zakhvoriuvan parodonta [Clinic, diagnostic and orthopedic methods of treatment of periodontal diseases]. Ivano-Frankivsk.[in Ukrainian]. 2008.
21. Lee J-H, Kim D-H, Jeong S-N, Choi S-H. Diagnosis and prediction of periodontally compromised teeth using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *J Periodontal Implant Sci.* 2018; 48(2):114-23. DOI: 10.5051/jpis.2018.48.2.114
22. Yauney G, Rana A, Wong LC, Javia P, Muftu A, Shah P. Automated process incorporating machine learning segmentation and correlation of oral diseases with systemic health. 41st Annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society (EMBC). IEEE. 2019.
23. Proffita WR. The evolution of orthodontics to a data-based specialty. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2000; 117(5):545-7. DOI: 10.1016/S0889-5406(00)70194-6
24. Junaid N, Khan N, Ahmed N, Abbasi MS, Das G, Maqsood A. Development, application, and performance of artificial intelligence in cephalometric landmark identification and diagnosis: a systematic review. *Healthcare.* 2022; 10(12):2454. DOI: 10.3390/healthcare10122454
25. Thanathornwong B. Bayesian-based decision support system for assessing the needs for orthodontic treatment. *Healthc Inform Res.* 2018; 24(1):22-8. DOI: 10.4258/hir.2018.24.1.22
26. Xie X, Wang L, Wang A. Artificial neural network modeling for deciding if extractions are necessary prior to orthodontic treatment. *Angle Orthod.* 2010; 80(2):262-6. DOI: 10.2319/111608-588.1
27. Jung S-K, Kim T-W. New approach for the diagnosis of extractions with neural network machine learning. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016; 149(1):127-33. DOI: 10.1016/j.ajodo.2015.07.030
28. Park J-H, Hwang H-W, Moon J-H, Yu Y, Kim H, Her S-B, et al. Automated identification of cephalometric landmarks: part 1—comparisons between the latest deep-learning methods YOLOV3 and SSD. *Angle Orthod.* 2019; 89(6):903-9. DOI: 10.2319/022019-127.1
29. Hwang H-W, Park J-H, Moon J-H, Yu Y, Kim H, Her S-B, et al. Automated identification of cephalometric landmarks: part 2—might it be better than human? *Angle Orthod.* 2020; 90(1):69-76. DOI: 10.2319/022019-129.1
30. Bulatova G, Kusnoto B, Grace V, Tsay TP, Avenetti DM, Sanchez FJC. Assessment of automatic cephalometric landmark identification using artificial intelligence. *Orthod Craniofac Res.* 2021; 24:37-42. DOI: 10.1111/ocr.12542
31. Choi H-I, Jung S-K, Baek S-H, Lim WH, Ahn S-J, Yang I-H, et al. Artificial intelligent model with neural network machine learning for the diagnosis of orthognathic surgery. *J Craniofac Surg.* 2019; 30(7):1986-9. DOI: 10.1097/SCS.0000000000005650
32. Cui Z, Li C, Chen N, Wei G, Chen R, Zhou Y, et al. TSegnet: an efficient and accurate tooth segmentation network on 3D dental model. *Med Image Anal.* 2021; 69:101949. DOI: 10.1016/j.media.2020.101949
33. Cui Z, Fang Y, Mei L, Zhang B, Yu B, Liu J, et al. A fully automatic AI system for tooth and alveolar bone segmentation from cone-beam CT images. *Nat Commun.* 2022; 13(1):1-11. DOI: 10.1038/s41467-022-29637-2
34. Cui Z, Zhang B, Lian C, Li C, Yang L, Wang W, et al. Hierarchical morphologyguided tooth instance segmentation from CBCT images. *International conference on information processing in medical imaging.* Springer. 2021.
35. Choi E, Lee S, Jeong E, Shin S, Park H, Youm S, et al. Artificial intelligence in positioning between mandibular third molar and inferior alveolar nerve on panoramic radiography. *Sci Rep.* 2022; 12(1):1-7. DOI: 10.1038/s41598-021-99269-x
36. Auberville M, Knipfer C, Oetter N, Jaremenko C, Rodner E, Denzler J, et al. Automatic classification of cancerous tissue in laserendomicroscopy images of the oral cavity using deep learning. *Sci Rep.* 2017; 7(1):1-10. DOI: 10.1038/s41598-017-12320-8
37. Xu B, Wang N, Chen T, Li M. Empirical evaluation of rectified activations in convolutional network. *arXiv preprint arXiv:150500853.* 2015.
38. Dhillon H, Chaudhari PK, Dhingra K, Kuo R-F, Sokhi RK, Alam MK, et al. Current applications of artificial intelligence in cleft care: a scoping review. *Front Med.* 2021; 8:1-14. DOI: 10.3389/fmed.2021.676490

39. Chang HY, Jung CK, Woo JI, Lee S, Cho J, Kim SW, et al. Artificial intelligence in pathology. *J Pathol Transl Med.* 2019; 53(1):1-12. DOI: 10.4132/jptm.2018.12.16
40. Warin K, Limprasert W, Suebnukarn S, Jinaporntham S, Jantana P, Vicharueang S. AI-based analysis of oral lesions using novel deep convolutional neural networks for early detection of oral cancer. *PLoS One.* 2022; 17(8):e0273508. DOI: 10.1371/journal.pone.0273508
41. James BL, Sunny SP, Heidari AE, Ramanjinappa RD, Lam T, Tran AV, et al. Validation of a point-of-care optical coherence tomography device with machine learning algorithm for detection of oral potentially malignant and malignant lesions. *Cancers.* 2021; 13(14):3583. DOI: 10.3390/cancers13143583
42. Heidari AE, Pham TT, Ifegwu I, Burwell R, Armstrong WB, Tjoseon T, et al. The use of optical coherence tomography and convolutional neural networks to distinguish normal and abnormal oral mucosa. *J Biophotonics.* 2020; 13(3):e201900221. DOI: 10.1002/jbio.201900221
43. Chen Y, Lee JKY, Kwong G, Pow EHN Pow, Tsoi JKH. Morphology and fracture behavior of lithium disilicate dental crowns designed by human and knowledge-based AI. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2022; 131:105256. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2022.105256
44. Hwang J-J, Azernikov S, Efros AA, Yu SX. Learning beyond human expertise with generative models for dental restorations. 2018 March. DOI: 10.48550/arXiv.1804.00064
45. Tian S, Wang M, Dai N, Ma H, Li L, Fiorenza L, et al. DCPR-GAN: dental crown prosthesis restoration using two-stage generative adversarial networks. *IEEE J Biomed Health Inform.* 2021; 26(1):151-60. DOI: 10.1109/JBHI.2021.3119394
46. Wei J, Peng M, Li Q, Wang Y. Evaluation of a novel computer color matching system based on the improved back-propagation neural network model. *J Prosthodont.* 2018; 27(8):775-83. DOI: 10.1111/jopr.12561
47. Yamaguchi S, Lee C, Karaer O, Ban S, Mine A, Imazato S. Predicting the debonding of CAD/CAM composite resin crowns with AI. *J Dent Res.* 2019; 98(11):1234-8. DOI: 10.1177/0022034519867641
48. Rokaya D, Kongkiatkamon S, Heboyan A, Dam VV, Amornvit P, Khurshid Z, et al. 3D-Printed Biomaterials in biomedical application. In: S Jana, S Jana, editors. *Functional biomaterials: drug delivery and biomedical applications.* Singapore:Springer Singapore. 2022. p. 319-39.
49. Sporrying J, Hommelhoff Jensen K. Bayes Reconstruction of missing teeth. *J Math Imaging Vis.* 2008; 31(2):245-54. DOI: 10.1007/s10851-008-0081-6
50. Zhang J, Xia JJ, Li J, Zhou X. Reconstruction-Based digital dental occlusion of the partially edentulous dentition. *IEEE J Biomed Health Inform.* 2017; 21(1):201-10. DOI: 10.1109/JBHI.2015.2500191
51. Chen Q, Lin S, Wu J, Lyu P, Zhou Y. Automatic drawing of customized removable partial denture diagrams based on textual design for the clinical decision support system. *J Oral Sci.* 2020; 62(2):236-8. DOI: 10.2334/josnusd.19-0138
52. Cheng C, Cheng X, Dai N, Jiang X, Sun Y, Li W. Prediction of facial deformation after complete denture prosthesis using BP neural network. *Comput Biol Med.* 2015; 66:103-12. DOI: 10.1016/j.combiomed.2015.08.018

UDC 616.31-07+616.314-007+ 004.8

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MODERN DENTISTRY (LITERATURE REVIEW)

O.I. Bulbuk, O.V. Bulbuk*, O.V. Shutak,
Y.I. Sykhorebskyi
*Ivano-Frankivsk National Medical University,
Department of Orthopedic Dentistry,
Department of Stomatology of ESIFE, Ivano-Frankivsk,

ORCID ID: 0000-0001-9229-9334

Scopus ID: 57216633783,

e-mail: obulbuk@ifnmu.edu.ua

ORCID ID: 0000-0001-8985-8254

Scopus ID: 57209793543,

e-mail: ovbulbuk@ifnmu.edu.ua

ORCID ID: 0009-0003-2874-4378,

e-mail: oshutak@ifnmu.edu.ua

ORCID ID: 0009-0007-2077-5515,

e-mail: ysukhorebskyi@ifnmu.edu.ua

Abstract. The application of artificial intelligence (AI) in medicine, particularly in dentistry, presents new opportunities for diagnosis, treatment, and data management. AI is becoming increasingly prevalent in dentistry, contributing to improved diagnostic accuracy and treatment efficiency. It can be regarded as a valuable tool that helps reduce the workload of dentists and healthcare professionals. The advantages of AI extend beyond traditional approaches: rather than analyzing a single source of information focused on a specific disease, Artificial intelligence is capable of processing multimodal data (e.g., a combination of medical images, age, gender, body mass index, smoking habits, blood pressure, and other parameters). This enables diagnostic outcomes that surpass the capabilities of human analysis. The primary AI applications in dentistry include machine learning, deep learning, and computer vision.

To conduct an analysis of scientific sources on artificial intelligence applications across various fields of dentistry.

A comprehensive search and analysis of scientific publications were performed using the PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar databases. The study employed theoretical generalization, formalization, analysis, and synthesis methods.

Artificial intelligence serves as a transformative force in the modern digital revolution, impacting various sectors of the economy and performing tasks that traditionally require human intelligence. Its integration into dentistry is particularly notable, offering innovative and enhanced approaches to diagnostic imaging, treatment planning, and patient care management. This review aims to explore how AI is evolving within dentistry and its profound impact on the profession. Beginning with

fundamental concepts and progressing to the latest advancements, AI methods such as deep learning and neural networks are now employed for detecting dental diseases, making treatment decisions, planning procedures, predicting treatment outcomes, and forecasting disease progression. These AI-driven approaches have demonstrated high efficacy and, in some complex cases, have even surpassed human capabilities in analyzing diverse datasets. This is especially evident in AI's role in enhancing the precision of dental imaging and assisting in clinical decision-making. Artificial intelligence is actively utilized in various dental specialties, including therapeutic dentistry, prosthodontics, orthodontics, and periodontology. Deep

learning algorithms contribute to caries detection, orthodontic treatment planning, implant success prediction, and the design of digital dental restorations. The study identifies the potential of AI to enhance diagnostic accuracy and treatment quality, alongside challenges related to ethical and legal considerations.

Artificial intelligence is a valuable tool in dentistry that can improve diagnostic precision, optimize treatment processes, and reduce human errors. Further research is needed to standardize algorithms and integrate AI into clinical practice.

Keywords: artificial intelligence, dentistry, machine learning, deep learning, diagnosis, treatment.

Conflict of interest: absent.

Стаття надійшла в редакцію 11.03.2025 р.

Стаття прийнята до друку 01.06.2025 р.