

## СТОМАТОЛОГІЯ

DOI <https://doi.org/10.32689/2663-0672-2026-1-6>

УДК 616.314:004.8

### СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СТОМАТОЛОГІЧНІЙ ОСВІТІ ТА ПРАКТИЧНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ СТОМАТОЛОГА (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

Білинський О. Я., Слинко Ю. О., Данко Е. М., Ізай М. Е., Гангур І. Ю.

### MODERN APPROACHES TO THE APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DENTAL EDUCATION AND PRACTICE (LITERATURE REVIEW)

Oleksandr Bilynskiy, Yuliya Slynko, Elvira Danko, Milan Izay, Ivan Hanhur

#### Анотація

**Актуальність.** Цифрові технології та штучний інтелект все активніше входять не тільки у повсякденне життя кожної людини, але і в медицину, зокрема й у стоматологічну практику та освіту. Особливо швидко розвиваються технології штучного інтелекту, які відкривають нові можливості для навчання майбутніх стоматологів і полегшують роботу лікарів на практиці. Штучний інтелект уже використовують для аналізу рентгенівських знімків, прогнозування результатів лікування та створення індивідуальних планів стоматологічного лікування. Впровадження систем інтелектуального навчання та віртуальної реальності в стоматологічну освіту та використання штучного інтелекту в практиці є не лише сучасною та актуальною темою, а й необхідною умовою підготовки майбутніх фахівців в стоматології, здатних ефективно працювати в умовах сучасної цифрової медицини. **Мета дослідження.** Проаналізувати можливості та перспективи застосування штучного інтелекту в системі підготовки студентів стоматологічних факультетів, а також оцінити його вплив на підвищення ефективності клінічної практики лікарів-стоматологів у контексті цифровізації медичної галузі. **Матеріали та методи.** З метою формування первинної вибірки наукових джерел було здійснено пошук публікацій із використанням сервісу Google Scholar, PubMed, ResearchGate, а також електронних баз провідних рецензованих журналів з набором ключових слів. **Результати досліджень та їх обговорення.** Аналіз доступних систематичних оглядів свідчить, що використання штучного інтелекту в навчанні студентів стоматологів підвищує якість навчання, а використання в клінічній практиці покращує точність діагностики, сприяючи персоналізованому підходу та більш ефективному лікуванню пацієнтів. **Висновки.** Використання штучного інтелекту в роботі лікаря-стоматолога допомагає покращити діагностику та планування, оскільки дозволяє автоматично аналізувати діагностичні зображення та створювати персоналізовані плани лікування. Застосування цифрових протоколів та автоматизованих технологій дозволяє розробляти особисті плани лікування, що збільшує їх ефективність. Незважаючи на переваги, успішне застосування таких технологій вимагає ретельної перевірки моделей, адаптації до індивідуальних клінічних потреб та врахування етичних і правових аспектів.

**Ключові слова:** штучний інтелект, цифрові технології, навчальні симулятори, інновації у стоматології, цифрова медицина, віртуальна реальність.

#### Abstract

**Background.** Digital technologies and artificial intelligence are increasingly entering not only the everyday life of every person, but also medicine, in particular dental practice and medical education. Artificial intelligence technologies are developing especially rapidly, which open up new opportunities for training future dentists and facilitate the work of doctors in practice. Artificial intelligence is already used to analyze X-ray images, predict treatment outcomes and create individual dental treatment plans. The introduction of intelligent learning systems and virtual reality into dental education and the use of artificial intelligence in practice is not only a modern and relevant topic, but also a necessary condition for training future specialists in dentistry, capable of working effectively in the conditions of modern digital medicine. **The purpose of the work.** To analyse the possibilities and prospects of applying artificial intelligence in the training system of dental students, as well as to evaluate



their impact on enhancing the effectiveness of clinical practice among dentists within the context of digital transformation in healthcare. **Materials and methods.** In the course of the study, scientific developments published on the research platforms Google Scholar and PubMed were analyzed. Semantic analysis of sources were used. The methodological basis of the study was a systematic approach. **Results and discussions.** Analysis of available systematic reviews suggests that the use of artificial intelligence in the education of dental students increases the quality of education, and use in clinical practice improves diagnostic accuracy, contributing to a personalized approach and more effective treatment of patients. **Conclusions.** The use of artificial intelligence in the work of a dentist helps to improve diagnostics and planning, as it allows for automatic analysis of diagnostic images and the creation of personalized treatment plans. The use of digital protocols and automated technologies allows for the development of personalized treatment plans, which increases their effectiveness. Despite the advantages, the successful application of such technologies requires careful validation of models, adaptation to individual clinical needs, and consideration of ethical and legal aspects.

**Key words:** artificial intelligence, digital technology, clinical simulation, dental innovation, medical technology, virtual reality.

## 1. Вступ

Цифрові технології в медицині сьогодні змінюють спосіб діагностики, лікування та контролю стану пацієнтів, що призводить до покращення якості клінічних рішень та ефективності лікування. Серед методів, які мають особливу важливість у цьому процесі, особливо виділяються способи візуалізації, зокрема рентгенографія, магнітно-резонансна томографія та ультразвук, які забезпечують чіткі зображення структур щелепно-лицевої області, дозволяючи виявляти різні захворювання на ранніх етапах.

Віртуальна реальність поступово впроваджується в навчання лікарів, дозволяючи створювати клінічні ситуації, вдосконалювати практичні навички та розвивати здатність до клінічного мислення у складних ситуаціях без небезпеки для життя чи здоров'я пацієнта. Електронні медичні карти роблять зберігання та передачу клінічної інформації простішими, що дозволяє спеціалістам працювати ефективніше та швидше приймати правильні рішення. Дистанційна медицина покращує можливості отримання медичної допомоги для людей, які живуть віддалено, забезпечує швидкі консультації та постійний контроль за пацієнтами, особливо тим, хто страждає хронічними хворобами [8, 12, 37, 43].

Штучний інтелект (ШІ) має величезний потенціал у медицині, як інструмент для аналізу медичних зображень, виявлення патологій та підтримки діагностичних рішень. Він дозволяє рано виявляти захворювання, автоматично оцінювати ризики та передбачувати перебіг захворювання [4].

Технології штучного інтелекту в Україні так само активно застосовуються у медичній сфері, зокрема для діагностики та обробки зображень, що покращує якість медичних послуг. Для подальшого розвитку цього напрямку необхідні інвестиції, підготовка кваліфікованих спеціалістів та створення відповідної нормативно-правової бази [34].

## 2. Методологія та методи дослідження

Дослідження було організовано у форматі ретроспективного аналізу наукових робіт, які відповідали поставленій меті. З метою формування первинної вибірки публікацій пошук статей проводився з використанням сервісу Google Академія, PubMed та набору наступних ключових слів: «штучний інтелект», «цифрові технології», «навчальні симулятори», «інновації у стоматології», «цифрова медицина», «віртуальна реальність».

Під час аналізу відібраних публікацій було досліджено наступні категорії:

- Педагогічний потенціал ШІ в системі медичної та стоматологічної освіти.
- Методологічні основи застосування цифрових технологій у медицині.
- Клінічне використання ШІ у сучасній стоматологічній практиці.
- Інноваційні розробки та стратегічні перспективи впровадження ШІ у стоматології.

## 3. Результати та обговорення

У сучасних умовах цифровізації інтеграція технологій штучного інтелекту (ШІ) у медичну освіту й практику відкриває нові можливості для формування клінічних навичок і підвищення ефективності лікування [32].

Штучний інтелект у сфері охорони здоров'я визначається як сукупність цифрових технологій та алгоритмічних рішень, що імітують інтелектуальні функції людини – зокрема здатність навчатися, аналізувати, приймати рішення та адаптуватися до нових даних. Його застосування у медицині охоплює широкий спектр завдань: від автоматизованої інтерпретації діагностичних зображень до прогнозування перебігу захворювань і підтримки клінічного рішення.

Згідно з даними Journal of Family Medicine and Primary Care, штучний інтелект можна визначити як «використання комп'ютерів та технологій для імітації інтелектуальної поведінки та критичного мислення, порівнянного

з людським» [2]. Компанія IBM також підкреслює роль ШІ як інструменту обробки медичних даних і генерації інсайтів, що покращують якість лікування та досвід пацієнтів [15].

Стоматологічна практика, за своєю суттю технічно орієнтована, наразі переживає значні зміни під впливом глобальної цифровізації системи охорони здоров'я. Інтенсивний розвиток інформаційних технологій відкриває принципово нові горизонти для впровадження інноваційних рішень у даній галузі [18]. Використання штучного інтелекту в стоматології можна розділити за наступними напрямками: діагностика, клінічні прийняття рішень, планування лікування та прогнозування результатів [19].

У діагностиці ШІ використовується для аналізу рентгенографічних зображень, виявлення карієсу, захворювань пародонту та інших патологій, що дозволяє виявляти проблеми на ранніх стадіях і зменшувати навантаження на стоматологів [11]. Наприклад, системи на основі глибокого навчання демонструють високу точність у виявленні стоматологічних захворювань, що сприяє покращенню якості діагностики та лікування [28].

При плануванні лікування інформаційні технології допомагають створювати персоналізовані плани, враховуючи індивідуальні особливості пацієнта, що особливо актуально в ортодонтії чи імплантології [13, 30, 31].

Впровадження штучного інтелекту у стоматологічну освіту стало одним із ключових трендів цифрової трансформації вищої медичної школи у світі та Україні. Використання інтелектуальних освітніх технологій дозволяє не лише оптимізувати процеси викладання предмету, але й персоналізувати навчання, адаптуючи його до індивідуальних потреб кожного окремого студента. Освітні платформи на базі штучного інтелекту сприяють активному залученню студентів до навчального процесу, підвищують якість засвоєння матеріалу та дозволяють створювати сценарії навчання, наближені до клінічної практики, що особливо важливо в медицині та стоматології [36, 40].

Алгоритми машинного навчання можуть аналізувати успішність студента, виявляти прогалини в знаннях та пропонувати індивідуалізовані рекомендації щодо подальшого навчання. Такий підхід підвищує ефективність підготовки майбутніх стоматологів, оскільки дозволяє формувати клінічні навички в середовищі, що моделює реальні клінічні ситуації.

На сьогоднішній день стоматологічні симулятори на основі віртуальної або доповненої

реальності можуть імітувати різноманітні стоматологічні втручання з високим рівнем точності, що дає змогу студентам неодноразово практикувати маніпуляції без будь якого ризику для пацієнта [7, 38, 39, 42].

Симулятор доповненої реальності Simodont Dental Trainer, який забезпечує високореалістичне віртуальне середовище з детальною 3D-візуалізацією та точним гаптичним зворотним зв'язком дозволяє студентам відчувати різницю між різними тканинами зуба (емаль, дентин і пульпа), під час виконання процедур. Дана система підтримує імпортування даних КТ-сканів та рентгенологічних знімків пацієнтів, що дає змогу створювати індивідуалізовані тренувальні сценарії [38]. Симулятор SIM to CARE Dente це програма, яка поєднує елементи змішаної реальності та дозволяє студентам взаємодіяти з віртуальними пацієнтами в реальному часі. Вона підтримує завантаження внутрішньоротових сканів, що сприяє персоналізованому навчанню, в той же час викладачі можуть створювати власні клінічні кейси та відстежувати прогрес студентів через інтегровану панель керування [39].

Інший симулятор практичної діяльності (Virteasy Dental) з гаптичним зворотним зв'язком надає студентам широкий вибір віртуальних стоматологічних процедур, включаючи реставрацію, ендодонтію, протезування та імплантологію. Віртуальна система дозволяє завантажувати внутрішньоротові скани та створювати індивідуальні навчальні сценарії, що покращує якість навчального процесу [42], а симулятор Cranio Catch надає студентам освітню платформу, яка використовує ШІ для створення адаптивних навчальних модулів та надання миттєвого зворотного зв'язку. Такий підхід дозволяє студентам практикувати процедури в безпечному середовищі, отримуючи персоналізовані рекомендації для покращення своїх навичок [7].

Дослідження, проведене в 2024 році Y. Algarni та колегами, показало, що використання VR-технологій значно підвищує ефективність навчання в стоматології. Студенти, які використовували технології віртуальної реальності для тренування мануальних навичок, досягли кращих результатів у порівнянні з тими, хто практикував на звичайних гіпсових або полімерних моделях. Отриманих результат був пов'язаний з можливістю повторювати процедури до досягнення бажаного результату [1]. Для тренування процедур на звичайних моделях або живих пацієнтах потрібен великий обсяг витратних матеріалів, тоді як VR може імітувати необмежену кількість ситуацій. За допомогою таких технологій

студенти можуть удосконалювати свої навички на моделях, які в точності відповідають реальним пацієнтам [21]. Схожі результати були отримані під час дослідження, проведеного в медичному університеті м. Керманшах (Mansoori M., 2022). Було відмічено, що використання віртуальних технологій відіграє ефективну роль у створенні динамічного, привабливого та успішного навчального середовища для студентів медичних спеціальностей [26].

Віртуальна реальність дозволяє студентам виконувати численні практичні навички без обмежень часу або ресурсів. В процесі навчання ШІ здатен оцінювати результати клінічних вправ, надаючи студенту зворотний зв'язок у режимі реального часу, а застосування чат-ботів і віртуальних асистентів на базі ШІ унаочнює складні клінічні концепції, полегшує підготовку до іспитів і сприяє повторенню матеріалу в зручному для студента темпі. Це скорочує навантаження на викладача та одночасно підвищує об'єктивність оцінювання [23].

Незважаючи на переваги та значний потенціал, впровадження сучасних технологій у стоматологічну освіту має ряд обмежень. Однією з головних проблем є брак належного технічного забезпечення в окремих освітніх закладах. Не менш важливим є етичний аспект використання ШІ оскільки існує ризик формування залежності студентів від алгоритмів, що може негативно вплинути на розвиток клінічного мислення, здатності до критичного аналізу та самостійного прийняття рішень [6]. Ще однією проблемою є порушення питання щодо конфіденційності персональних і навчальних даних, які аналізуються ШІ-системами, що вимагає відповідного регулювання на законодавчому рівні [33].

Віртуальна реальність дозволяє студентам виконувати численні практичні навички без обмежень часу або ресурсів, але використання VR в стоматологічному навчанні має певні обмеження. Одним із головних є висока вартість впровадження таких технологій. Система VR та необхідне програмне забезпечення можуть вимагати значних інвестицій, що є проблемою для багатьох навчальних закладів, особливо в країнах з обмеженими ресурсами [5]. Іншим викликом є потреба в адаптації традиційних навчальних програм до використання нових технологій. Багато викладачів та студентів ще не мають достатнього досвіду роботи з VR, що може потребувати додаткового часу на навчання та освоєння технології.

Штучний інтелект (ШІ) поступово стає невід'ємним інструментом у клінічній практиці сучасного стоматолога, особливо в галузі діагностики. Його застосування особливо актуальне для автоматизованого аналізу візуалізаційних даних, таких як рентгенограми, комп'ютерна томографія (КТ), конусно-променева комп'ютерна томографія (cone-beam computed tomography, CBCT) та інтраоральне 3D-сканування. Основою функціонування ШІ в цьому контексті є нейронні мережі, принцип роботи яких забезпечує здатність до розпізнавання патернів. Ця властивість дозволяє ідентифікувати патологічні зміни в межах складних візуалізаційних структур із вражаючою точністю. В певних клінічних випадках, діагностична ефективність ШІ не лише доповнює людські когнітивні можливості, а й демонструє потенціал до їхнього перевершення [10, 36].

Глибоке навчання (deep learning, DL), особливо з використанням згорткових нейронних мереж (convolutional neural networks, CNN), демонструє ефективність у виявленні каріозних уражень, периапікальних уражень, періодонтальних дефектів та втрати кісткової тканини на панорамних рентгенограмах і при КПКТ-обстеженнях [14].

Системний аналіз Lee J. H. та колег показало, що модель CNN досягла точності понад 90% у виявленні проксимального карієсу на прицільних знімках контактних поверхонь [22].

У сфері КТ і КПКТ, штучний інтелект також використовується для сегментації анатомічних структур, таких як нижньощелепний канал, гайморові пазухи або кореневі канали. Автоматична сегментація не лише знижує ризик лікарської помилки, але й прискорює планування хірургічних втручань, таких як імплантація або видалення ретинуваних зубів [3]. У дослідженні Jaskari et al. було продемонстровано, що алгоритми глибокого навчання можуть точно сегментувати щелепні структури на КПКТ зображеннях, забезпечуючи високу узгодженість з експертними оцінками [17].

Інтраоральне 3D-сканування також інтегрується із ШІ для виявлення стирання зубів, тріщин емалі або порушень прикусу. Деякі сучасні сканери використовують вбудовані алгоритми машинного навчання (machine learning, ML), які автоматично виділяють аномальні ділянки та будують цифрову модель щелеп із діагностичними примітками [25]. Це особливо важливо в ортодонтії, ортопедії та цифровій стоматології, де точність і швидкість створення моделей має вирішальне значення.

У хірургічній стоматології, зокрема імплантології, ШІ використовується на етапі цифрового планування, дозволяючи створити віртуальні 3D-моделі щелеп, визначити оптимальне положення імплантатів, враховуючи анатомічні особливості пацієнта, щільність кістки та положення анатомічно важливих структур, таких як: нижньощелепний канал, гайморові пазухи, тощо [9]. Алгоритми глибокого навчання можуть автоматично сегментувати анатомічні об'єкти та генерувати шаблони хірургічних навігаційних шаблонів із високою точністю, що сприяє зменшенню операційного часу та підвищенню безпеки процедури [17, 24].

У ортопедичній стоматології використання CAD/CAM (computer-aided design/computer-aided manufacturing) та ШІ дозволяє автоматизувати процес моделювання та виготовлення ортопедичних конструкцій – коронок, мостів, вінірів, з урахуванням оклюзійних взаємозв'язків, естетичних параметрів та індивідуальної морфології зубів [25]. Алгоритми можуть аналізувати тисячі клінічних випадків, щоб рекомендувати найкращу форму реставрації або шлях її створення з мінімальними втручаннями [16].

Ортодонтичне планування також зазнає трансформацій завдяки штучному інтелекту. Системи на основі машинного навчання можуть проводити автоматичну оцінку прикусу, передбачати зміни у положенні зубів під впливом брекет-систем або елайнерів, генерувати симульовані результати лікування та моделювати фази переміщення зубів [20]. Такі програми, як Invisalign ClinCheck або uLab Systems, активно застосовують алгоритми предиктивного моделювання для створення індивідуальних протоколів вирівнювання зубів [29].

Клінічні дослідження демонструють високу ефективність застосування ШІ в умовах реальної стоматологічної практики. Так, за результатами дослідження S. K. Satpathy та співавтори, у пацієнтів, яким проводили імплантацію з використанням попереднього цифрового планування на основі ШІ, було зафіксовано статистично значуще зниження частоти хірургічних ускладнень порівняно з традиційними методами планування [35]. У свою чергу, Maspero С. та колеги довели, що впровадження автоматизованих цифрових протоколів у ортодонтичну практику сприяє суттєвому скороченню тривалості лікування, а також підвищенню точності прогнозування кінцевих результатів [27].

Незважаючи на численні переваги, широке впровадження ШІ у клінічну практику

супроводжується певними викликами. Важливими залишаються питання валідації моделей на різноманітних клінічних даних, етичні аспекти автоматизації діагностики, а також необхідність навчання лікарів правильній інтерпретації результатів, отриманих за допомогою ШІ [41].

#### 4. Висновки

Впровадження технологій штучного інтелекту в клінічну стоматологічну практику сприятиме значному підвищенню якості діагностики та терапії, зокрема завдяки автоматизованій обробці даних та цифровому плануванню хірургічних, терапевтичних та ортодонтичних втручань. Використання алгоритмів глибокого навчання для аналізу рентгенівських знімків, КТ і 3D-сканів забезпечує високу точність і зменшує ризики лікарських помилок. Цифрові протоколи та CAD/CAM-технології дозволяють створювати персоналізовані плани лікування з урахуванням анатомічних особливостей пацієнта, що сприяє зниженню тривалості лікування та підвищенню прогнозованості результатів. Клінічні кейси демонструють: імплантація з використанням цифрового планування ШІ супроводжується зменшенням ускладнень, а автоматизовані протоколи суттєво скорочують термін ортодонтичного лікування. Незважаючи на переваги, успішне застосування таких технологій вимагає ретельної перевірки моделей, адаптації до індивідуальних клінічних потреб та врахування етичних і правових аспектів. Подальший розвиток цифрової стоматології та удосконалення відповідних медичних стандартів значною мірою залежить від тісної міждисциплінарної взаємодії між клініцистами, інженерами-розробниками та представниками нормативно-правових органів.

**Перспективи подальших досліджень** включають вивчення можливості використання штучного інтелекту, як допоміжного інструменту в навчанні та практичній діяльності лікаря-стоматолога.

#### Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

#### Згода на публікацію

Автори ознайомлені з результатами і схвалили остаточний варіант рукопису.

**Використання штучного інтелекту** здійснювалося виключно для мовного редагування.

**Первинні дані та матеріали** представлені вибіркою літературних джерел переважно за останні роки дослідження.

проведення цього дослідження та підготовку статті.

**Інформація про фінансування.** Автори не отримували окремого фінансування на

### Внесок авторів

Всі автори мають рівноцінний внесок у написання статті.

## REFERENCES

1. Algarni, Y.A., Saini, R.S., Vaddamanu, S.K., Quadri, S.A., Gurumurthy, V., Vyas, R., Baba, S.M., Avetisyan, A., Mosaddad, S.A., & Heboyan, A. (2024). The impact of virtual reality simulation on dental education: A systematic review of learning outcomes and student engagement. *Journal of dental education*, 88, 1–14.
2. Amisha, 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.
3. Arik, S.O., Ibragimov, B., Xing, L. (2017). Fully automated quantitative cephalometry using convolutional neural networks. *Journal of Medical Imaging*, 4(1), 014501.
4. Badawy, M.K., Carrion, D., Mahesh, M. (2025). Medical physicists at the forefront of multidisciplinary AI integration in healthcare. *Phys Med*, 135, 105007.
5. Baniasadi, T., Ayyoubzadeh, S.M., Mohammadzadeh, N. (2020). Challenges and Practical Considerations in Applying Virtual Reality in Medical Education and Treatment. *Oman Medical Journal*, 35(3), e125.
6. Claman, D., Sezgin, E. (2024). Artificial Intelligence in Dental Education: Opportunities and Challenges of Large Language Models and Multimodal Foundation Models. *JMIR Medical Education*, 10, e52346.
7. CranioCatch. (n.d.). AI in Dentistry Education. Доступно на: <https://www.cranio catch.com/en/blogs/ai-dentistry-education> (Активне посилання на період 15.03.2026).
8. Dunkel, L., Fernandez-Luque, L., Loche, S., Savage, M.O. (2021). Digital technologies to improve the precision of paediatric growth disorder diagnosis and management. *Growth Hormone & IGF Research*, 59, 101408.
9. Elgarba, B.M., Fontenele, R.C., Tarce, M., Jacobs, R. (2024). Artificial intelligence serving pre-surgical digital implant planning: A scoping review. *Journal of dentistry*, 143, 104862.
10. Esteva, A., Robicquet, A., Ramsundar, B. et al. (2019). A guide to deep learning in healthcare. *Nature Medicine*, 25(1), 24–29.
11. Gao, S., Wang, X., Xia, Z., Zhang, H., Yu, J., Yang, F. (2025). Artificial Intelligence in Dentistry: A Narrative Review of Diagnostic and Therapeutic Applications. *Med Sci Monit*, 8(31), e946676.
12. Goumballa, N., de-Oliveira, F., Frandon, J., Coisy, F., Goupil, J., Longueville, F., Daladouire, C., Grandpierre, R.G., Beregi, J.P. (2025). Trends in radiology requests and emergency admissions: a 10-year retrospective study in a university hospital. *J Epidemiol Popul Health*, 73(3), 203108.
13. Gracea, R.S., Winderickx, N., Vanheers, M., Hendrickx, J., Preda, F., Shujaat, S., Cadenas de Llanopérula, M., Jacobs R. (2025). Artificial intelligence for orthodontic diagnosis and treatment planning: A scoping review. *Journal of dentistry*, 152, 105442.
14. Hung, M., Voss, M.W., Rosales, R.M. et al. (2019). Application of machine learning for diagnostic prediction in dental care: A systematic review. *PLOS ONE*, 16(5), e0251521.
15. IBM Corporation. (2024). IBM Think. Artificial Intelligence in Medicine. <https://www.ibm.com/think/topics/artificial-intelligence-medicine> (Активне посилання на період 15.03.2026).
16. Iosif, L., Țăncu, A.M., Amza, O.E., Gheorghe, G.F., Dimitriu, B., Imre, M. (2024). Artificial intelligence in prosthetic dentistry: A narrative review Bridging Established Knowledge and Innovation Gaps Across Regions and Emerging Frontiers. *Prosthesis*, 6(6), 1281–1299.
17. Jaskari, J., Sahlsten, J., Järnstedt, J. et al. (2020). Deep Learning Method for Mandibular Canal Segmentation in Dental Cone Beam Computed Tomography Volumes. *Scientific reports*, 10(1), 5842.
18. Joda, T., Waltimo, T., Probst-Hensch, N., Pauli-Magnus, C., Zitzmann, N.U. (2019). Health Data in Dentistry: An Attempt to Master the Digital Challenge. *Public Health Genomics*, 22(1–2), 1–7.
19. Khanagar, S.B., Al-Ehaideb, A., Maganur, P.C., Vishwanathaiah, S., Patil, S., Baeshen, H.A., Sarode, S.C., Bhandi, S. (2021). Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry – A systematic review. *Journal of dental sciences*, 16(1), 508–522.
20. Kunz, F., Stellzig-Eisenhauer, A., Zeman, F., Boldt, J. (2020). Artificial intelligence in orthodontics : Evaluation of a fully automated cephalometric analysis using a customized convolutional neural network. *Journal of orofacial orthopedics*, 81(1), 52-68.
21. Lampropoulos, G., Kinshuk. (2024). Virtual reality and gamification in education: a systematic review. *Education Tech Research Dev*, 72, 1691–1785.
22. Lee J.H., Kim D.H., Jeong S.N., Choi S.H. (2018). Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *Journal of Dentistry*, 77, 106–111.
23. Lee, S.J., Poon, J., Jindarojanakul, A., Huang, C.C., Viera, O., Cheong, C. W., Lee, D. (2025). Artificial intelligence in dentistry: Exploring emerging applications and future prospects. *Journal of Dentistry*, 155, 105648.

24. Mangano, F.G., Admakin, O., Lerner, H., Mangano, C. (2023). Artificial intelligence and augmented reality for guided implant surgery planning: A proof of concept. *Journal of dentistry*, 133, 104485.
25. Mangano, F.G., Veronesi, G., Hauschild, U., et al. (2016). Trueness and precision of four intraoral scanners in oral implantology: A comparative in vitro study. *PLOS ONE*, 11(9), e0163107.
26. Mansoori, M., Azizi, S.M., Mirhosseini F. et al. (2022). A study to investigate the effectiveness of the application of virtual reality technology in dental education. *BMC Med Educ*, 22, 457.
27. Maspero, C., Abate, A., Cavagnetto, D., El Morsi, M., Fama, A., Farronato, M. (2020). Available Technologies, Applications and Benefits of Teleorthodontics. A Literature Review and Possible Applications during the COVID-19 Pandemic. *Journal of Clinical Medicine*, 9(6), 1891.
28. Mohammad-Rahimi, H., Motamedian, S.R., Rohban, M.H., Krois, J., Uribe, S.E., Mahmoudinia, E., Rokhsad, R., Nadimi, M., Schwendicke, F. (2022). Deep learning for caries detection: A systematic review. *Journal of dentistry*, 122, 104115.
29. Monill-González, A., Rovira-Calatayud, L., d'Oliveira, N.G., Ustrell-Torrent, J.M. (2021). Artificial intelligence in orthodontics: Where are we now? A scoping review. *Orthodontics & craniofacial research*, 24(2), 6–15.
30. Pauwels, R. (2026). Artificial Intelligence in Dental Diagnostics and Treatment Planning: General Principles, Current State, and Future Perspectives. *Aktuel Nordisk Odontologi*, 51(1), 7–23.
31. Rajan, R.S., Kumar, H.S., Sekhar, A., Nadakkavukaran, D., Feroz, S.M., Gangadharappa, P. (2024). Evaluating the Role of AI in Predicting the Success of Dental Implants Based on Preoperative CBCT Images: A Randomized Controlled Trial. *Journal of pharmacy & bioallied sciences*, 16(1), 886–888.
32. Ramesh, A.N., Kambhampati, C., Monson, J.R., Drew, P.J. (2004). Artificial intelligence in medicine. *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 86(5), 334–8.
33. Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence. (2021). UNESCO. Доступно на: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380455> (Активне посилання на період 15.03.2026).
34. Saenko, M. S. (2022). Shtuchnyi intelekt: sutnist, suchasnyi stan rozvytku ta mozhlyvosti yoho zastosuvannya u medytsyni. *Developent of natural sciences as a basis of new achievements in medicine*, 270–275.
35. Satapathy, S. K., Kunam, A., Rashme, R., Sudarsanam, P.P., Gupta, A., Kumar, H. S. K. (2024). AI-Assisted Treatment Planning for Dental Implant Placement: Clinical vs AI-Generated Plans. *Journal of pharmacy & bioallied sciences*, 16(1), 939–941.
36. Schwendicke, F., Samek, W., Krois J. (2020). Artificial intelligence in dentistry: Chances and challenges. *Journal of Dental Research*, 99(7), 769–774.
37. Siddharthan, I.J., Huang, C., Kumar, P., Rubin, J.E., White, R.S., Mehta, N., Jotwani, R. (2025). Virtual Reality for Pre-Procedural Planning of Interventional Pain Procedures: A Real-World Application Case Series. *J Clin Med*, 14(9), 3019.
38. Simodont Dental Trainer. (n.d.). Доступно на: <https://www.simodontdentaltrainer.com/> (Активне посилання на період 15.03.2026).
39. SIMtoCARE Dente. (n.d.). Simtocare – Dental Simulation Solutions. Доступно на: <https://www.simtocare.com> (Активне посилання на період 15.03.2026).
40. Thurzo, A., Strunga, M., Urban, R., Surovková, J., Afrashtehfar, K.I. (2023). Impact of Artificial Intelligence on Dental Education: A Review and Guide for Curriculum Update. *Education Sciences*, 13(2), 150.
41. Topol, E.J. (2019). High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25, 44–56.
42. Virteasy Dental. (n.d.). HRV Simulation. Доступно на: <https://virteasy.com/virteasy-dental> (Активне посилання на період 15.03.2026).
43. Waller M., Stotler C. (2018). Telemedicine: a Primer. *Current Allergy and Asthma Reports*, 18(10), 54.

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Англ.

**Bilynskiy Oleksandr**

Doctor of Philosophy in Dentistry, Associate Professor at the Department of Restorative Dentistry

*Uzhhorod National University*

*olexander.bilinskij@uzhnu.edu.ua*

*ORCID: 0000-0002-0081-2346*

Укр.

**Білінський Олександр Ярославович**

доктор філософії, доцент кафедри терапевтичної стоматології ННІСЛІМ

*ДВНЗ «Ужгородський національний університет»*

*olexander.bilinskij@uzhnu.edu.ua*

*ORCID: 0000-0002-0081-2346*

**Slynko Yuliya**

Candidate of Medical Sciences, Associate Professor  
of the Department of Restorative Dentistry  
*Uzhgorod National University*  
*yuliia.slynko@uzhnu.edu.ua*  
ORCID: 0000-0002-9718-5202

**Danko Elvira**

Doctor of Philosophy in Dentistry, Associate  
Professor at the Department of Restorative  
Dentistry  
*Uzhhorod National University*  
*elvira.danko@uzhnu.edu.ua*  
ORCID: 0000-0002-3997-9311

**Izay Milan**

Senior Lecturer at the Department of Pediatric  
Dentistry  
*Uzhhorod National University*  
*milan.izay@uzhnu.edu.ua*  
ORCID: 0000-0001-5636-9614

**Hanhur Ivan**

Senior Lecturer at the Department of Restorative  
Dentistry  
*Uzhhorod National University*  
*ivan.hanhur@uzhnu.edu.ua*  
ORCID: 0000-0003-0651-0653

**Слинько Юлія Олександрівна**

кандидат медичних наук, завідувач кафедри  
терапевтичної стоматології ННІСЛІМ  
*ДВНЗ «Ужгородський національний  
університет»*  
*yuliia.slynko@uzhnu.edu.ua*  
ORCID: 0000-0002-9718-5202

**Данко Ельвіра Михайлівна**

доктор філософії, доцент кафедри терапевтичної  
стоматології ННІСЛІМ  
*ДВНЗ «Ужгородський національний  
університет»*  
*elvira.danko@uzhnu.edu.ua*  
ORCID: 0000-0002-3997-9311

**Ізай Мілан Ернестович**

старший викладач кафедри дитячої стоматології  
ННІСЛІМ  
*ДВНЗ «Ужгородський національний  
університет»*  
*milan.izay@uzhnu.edu.ua*  
ORCID: 0000-0001-5636-9614

**Гангур Іван Юрійович**

старший викладач кафедри терапевтичної  
стоматології ННІСЛІМ  
*ДВНЗ «Ужгородський національний  
університет»*  
*ivan.hanhur@uzhnu.edu.ua*  
ORCID: 0000-0003-0651-0653

Дата надходження статті: 19.03.2026

Дата надходження виправленої версії статті: 03.04.2026

Дата прийняття статті: 10.04.2026

Дата публікації статті: 05.06.2026