

УДК 616.314-071.2:004.9

DOI <https://doi.org/10.35220/2523-420X/2025.3.6>**В.М. Халецька,**

кандидат медичних наук,
асистент кафедри дитячої стоматології,
Дніпровський державний медичний університет,
вул. Володимира Вернадського, 9, м. Дніпро, Україна,
індекс 49044, duz101.vk@gmail.com

Р.П. Олійник,

кандидат медичних наук, доцент,
кафедра стоматології післядипломної освіти,
Івано-Франківський національний медичний
університет,
вул. Галицька, 2, м. Івано-Франківськ, Україна,
індекс 76018, olijnukroman12@gmail.com

О.В. Атаманчук,

кандидат медичних наук, доцент,
доцент кафедри гістології, цитології та ембріології,
Івано-Франківський національний медичний
університет,
вул. Галицька, 2, м. Івано-Франківськ, Україна,
індекс 76018, atamanchuk85@gmail.com

ЦИФРОВА СТОМАТОЛОГІЯ ЯК ОСНОВА ПЕРСОНАЛІЗОВАНОГО ПЛАНУВАННЯ ЛІКУВАННЯ

Мета роботи. Дослідження спрямоване на обґрунтування ролі цифрових технологій як ключової основи персоналізованого планування стоматологічного лікування. У межах роботи визначено вплив цифрових рішень на підвищення точності діагностики, прогнозованість клінічних результатів та вдосконалення ортопедичних протоколів. **Матеріали та методи.** Для досягнення поставленої мети здійснено системний аналіз наукових публікацій, відібраних із міжнародних наукометричних баз даних PubMed, Scopus, Web of Science, SpringerLink, ACS Publications, ScienceDirect та Wiley Online Library. Пошук охоплював період із січня 2020 р. по жовтень 2025 р. Аналіз проводився з урахуванням сучасних тенденцій цифрової стоматології, її технологічних рішень і клінічних результатів, описаних у провідних рецензованих джерелах. **Наукова новизна.** Установлено, що цифровізація стоматологічної практики забезпечує перехід від аналогових методів фіксації клінічних параметрів до комплексних цифрових технологій, серед яких провідне місце посідає внутрішньоротове сканування. Використання цифрових відбитків усуває похибки, пов'язані з усадкою матеріалів і суб'єктивністю ручних етапів, підвищуючи точність і відтворюваність клінічних результатів. Аналіз систематичних оглядів підтвердив стабільність показників точності цифрових імпресій за умов мінімального впливу людського чинника, що свідчить про високий потенціал цифрових технологій у формуванні персоналізованих підходів до стоматологічного лікування. **Результати** проведених досліджень засвідчили підвищену точність цифро-

вих технологій у стоматологічній практиці, зокрема під час протезування на імплантатах. Встановлено, що цифрові відбитки не поступаються традиційним методам за точністю, водночас забезпечуючи більший комфорт пацієнта та скорочення часу клінічних процедур. Аналіз наукових робіт підтвердив меншу деформацію цифрових імпресій на моделях типу «all-on-four», що сприяє підвищенню точності CAD/CAM-моделювання. Автоматизований контроль у межах CAD/CAM-процесів забезпечує оптимальну підгонку ортопедичних конструкцій і доводить ефективність використання цифрових фейсбоу-методів для точнішої передачі міжщелепних співвідношень. Доведено, що цифрове моделювання усмішки підвищує передбачуваність естетичних результатів лікування, а впровадження технологій 3D-друку відкриває нові можливості для створення індивідуальних шаблонів та постійних ортопедичних конструкцій з високою точністю. Загалом результати досліджень підтверджують перспективність цифрових технологій як інструменту підвищення точності, ефективності та прогнозованості стоматологічних втручань. **Висновки.** Цифрова стоматологія не лише змінює інструментарій лікаря, а й формує нову філософію лікування, орієнтовану на персоналізований підхід, доказову точність, мінімальну інвазивність і максимальну передбачуваність. Окрім підвищення точності клінічних процедур, цифрові технології створюють підґрунтя для персоналізованої медицини – із прогнозованими результатами, біомеханічною стабільністю зубних конструкцій та мінімізацією ортопедичних втручань. Упровадження CAD/CAM-, DSD- та 3D-технологій у комплексному лікуванні формує єдиний інтегрований цифровий простір, у якому відбувається планування, моделювання, виготовлення та контроль результатів ортопедичного лікування.

Ключові слова: цифрова стоматологія, CAD/CAM, 3D-друк, внутрішньоротове сканування, персоналізоване лікування, цифрове моделювання, ортопедична стоматологія.

V.M. Khaletska,

Candidate of Medical Sciences,
Assistant of the Department of Pediatric Dentistry,
Dnipro State Medical University,
9 Volodymyr Vernadsky street, Dnipro, postal code 49044,
Ukraine, duz101.vk@gmail.com

R.P. Oliinyk,

Candidate of Medical Sciences, Associate Professor,
Department of Postgraduate Dentistry, Ivano-Frankivsk
National Medical University,
2 Halytska street, Ivano-Frankivsk, Ukraine, postal code
76018, olijnukroman12@gmail.com

O.V. Atamanchuk,

Candidate of Medical Sciences, Associate
Professor, Associate Professor of the Department
of Histology, Cytology and Embryology,
Ivano-Frankivsk National Medical University,
2 Halytska street, Ivano-Frankivsk, Ukraine, postal code
76018, atamanchuk85@gmail.com

DIGITAL DENTISTRY AS THE FOUNDATION OF PERSONALIZED TREATMENT PLANNING

Purpose. The study aims to substantiate the role of digital technologies as a key foundation for personalized planning in dental treatment. It defines the impact of digital solutions on improving diagnostic accuracy, enhancing clinical predictability, and refining prosthetic treatment protocols. **Materials and Methods.** To achieve this goal, a systematic analysis of scientific publications was conducted using international scientometric databases such as PubMed, Scopus, Web of Science, SpringerLink, ACS Publications, ScienceDirect, and Wiley Online Library. The search covered the period from January 2020 to October 2025. The analysis took into account contemporary trends in digital dentistry, technological solutions, and clinical outcomes described in leading peer-reviewed sources. **Scientific Novelty.** The study establishes that the digitalization of dental practice enables a transition from analog methods of recording clinical parameters to integrated digital technologies, among which intraoral scanning occupies a leading position. The use of digital impressions eliminates errors associated with material shrinkage and the subjectivity of manual procedures, thereby improving the accuracy and reproducibility of clinical outcomes. Systematic reviews confirmed the stability of accuracy indicators for digital impressions under conditions of minimal human influence, highlighting the high potential of digital technologies in forming personalized approaches to dental treatment. The conducted research demonstrated the superior precision of digital technologies in dental practice, particularly in implant-supported prosthetics. It was found that digital impressions are comparable to traditional methods in accuracy while providing greater patient comfort and reducing the duration of clinical procedures. Scientific evidence also confirms less deformation of digital impressions in “all-on-four” models, contributing to the increased precision of CAD/CAM modeling. Automated control within CAD/CAM processes ensures optimal fitting of prosthetic structures and validates the effectiveness of digital facebow methods for more precise intermaxillary transfer. It was proven that digital smile design enhances the predictability of aesthetic treatment outcomes, while the implementation of 3D printing technologies opens new opportunities for creating individualized templates and permanent prosthetic structures with high accuracy. Overall, the results confirm the prospects of digital technologies as tools for increasing the precision, efficiency, and predictability of dental interventions. **Conclusions.** Digital dentistry not only transforms the practitioner’s toolkit but also shapes a new philosophy of treatment based on personalized approaches, evidence-based precision, minimal invasiveness, and maximum predictability. Beyond improving the accuracy of clinical procedures, digital technologies lay the foundation for personalized medicine characterized by predictable outcomes, biomechanical stability of dental structures, and minimized prosthetic interventions. The integration of CAD/CAM, DSD, and 3D technologies into comprehensive treatment establishes a unified

digital ecosystem encompassing the planning, modeling, fabrication, and quality control of prosthetic outcomes.

Key words: digital dentistry, CAD/CAM, 3D printing, intraoral scanning, personalized treatment, digital modeling, prosthetic dentistry.

Постановка проблеми. Цифрова трансформація сучасної стоматології визначає нову парадигму діагностики, планування та виготовлення ортопедичних конструкцій. Як зазначають Р. Альмаршаді (R. Almarshadi) та співавт. [1, с. 86791], впровадження технологій 3D-друку, CAD/CAM-систем та цифрового планування створює передумови для формування персоналізованого підходу до лікування. 3D-друк дає змогу не лише оптимізувати процес виготовлення індивідуалізованих ортопедичних конструкцій, але й забезпечує відтворюваність їхніх морфометричних характеристик, що особливо важливо у випадках складних клінічних ситуацій. Системи цифрового моделювання інтегрують клінічні, рентгенологічні та морфологічні дані, що підвищує точність діагностики та прогнозування функціональних результатів [2, с. 5833].

Одним із ключових аспектів цифрової стоматології є точність внутрішньоротового сканування. За даними П. Пеше (P. Pesce) та співавт. [3, с. 71], точність (показники *trueness* і *precision*) сучасних сканерів при скануванні коротких дуг становить 50–80 мкм, тоді як при повноарковому скануванні вона незначно знижується. Це дає змогу ефективно використовувати цифрові технології для створення як одиничних, так і багаточленних ортопедичних конструкцій. М. Шіммель (M. Schimmel) та колеги [4, с. 1839] встановили, що внутрішньоротові сканери зберігають прийнятну точність навіть у разі повної адентії, хоча складність анатомічного рельєфу слизової оболонки може впливати на якість цифрового відбитка.

Зростання інтересу до цифрових протоколів сприяє активному порівнянню традиційних і цифрових підходів. У рандомізованому контрольованому дослідженні [5, с. 43] виявлено, що цифрове моделювання усмішки дає змогу зменшити кількість клінічних етапів, скоротити тривалість лікування та підвищити естетичну точність реставрацій. Подібні результати наведено й у дослідженні, де зазначено, що різні програмні комплекси відрізняються ступенем інтеграції з CAD/CAM-середовищем, проте всі вони забезпечують вищу точність і відтворюваність етапу планування [6, с. 233].

Важливим чинником ефективного застосування цифрових технологій є рівень циф-

рових компетентностей лікаря. Кузик І. М. та А. В. Котельбан [7, с. 70] зазначають, що недостатній рівень підготовки у сфері CAD/CAM-технологій знижує ефективність використання цифрових методів у клінічній практиці. Водночас упровадження освітніх програм, спрямованих на формування цифрової грамотності стоматологів, сприяє зменшенню технологічних бар'єрів та прискоренню інтеграції цифрових протоколів у повсякденну практику [8, с. 33].

Інші дослідники, зокрема Г. Ояма (Н. Оуама) та співавт. [9, с. 83272], акцентують увагу на міждисциплінарному потенціалі цифрової стоматології, адже інтеграція технологій 3D-сканування, біомеханічного аналізу та штучного інтелекту забезпечує оптимальний баланс між функціональними й естетичними параметрами стоматологічних реставрацій.

Мета роботи. Провести систематичний аналіз сучасних цифрових технологій у стоматології, зокрема CAD/CAM, 3D-друку, внутрішньоротового сканування, фотограмметрії та цифрового моделювання, з метою визначення їхнього впливу на точність діагностики, персоналізацію лікувального планування та підвищення ефективності виготовлення ортопедичних конструкцій.

Завдання дослідження:

1. Обґрунтувати роль цифрових технологій як ключової основи персоналізованого планування стоматологічного лікування та визначити їхній вплив на підвищення точності діагностики, прогнозованість клінічних результатів і оптимізацію ортопедичних протоколів.

2. Визначити міждисциплінарні взаємозв'язки між цифровими технологіями, біомеханічним аналізом і клінічною практикою в стоматології, а також ідентифікувати бар'єри та перспективи впровадження цифрових протоколів у сучасну ортопедичну стоматологію.

Матеріали та методи. Для проведення систематичного аналізу використано провідні наукометричні бази даних: PubMed, Scopus, Web of Science, SpringerLink, ACS Publications, ScienceDirect та Wiley Online Library. Пошук літератури здійснювався у період із січня 2020 р. по жовтень 2025 р. із застосуванням комбінацій ключових слів: «digital dentistry», «CAD/CAM», «3D printing in prosthodontics», «intraoral scanning», «biomechanical analysis», «custom abutment», «additive manufacturing in dentistry» – із використанням логічних операторів AND, OR, NOT.

До аналізу включено оригінальні наукові статті, систематичні огляди, метааналізи та ек-

периментальні дослідження, опубліковані англійською або українською мовами. Відбір матеріалів проводився за критеріями наукової релевантності, наявності опису методології та статистичної достовірності результатів ($p \leq 0,05$).

Із розгляду було виключено публікації без повного тексту, дублікати, а також роботи, що не містили експериментальної чи клінічної перевірки. Після скринінгу до фінального аналізу відібрано 23 публікації, які найбільш повно відображають сучасний стан цифрової трансформації в стоматології. Відбір проведено відповідно до рекомендацій PRISMA 2020.

Так, у межах систематичного огляду якості включених досліджень оцінювали із застосуванням загальноприйнятих методологічних інструментів. Для систематичних оглядів і метааналізів використовували шкалу AMSTAR 2 (A Measurement Tool to Assess Systematic Reviews), що дало змогу оцінити методологічну якість, ступінь прозорості та відтворюваність висновків. Для первинних клінічних і експериментальних досліджень застосовували критерії ROBIS (Risk of Bias in Systematic Reviews) з метою оцінювання потенційного ризику упередженості на рівні вибірки, методів, результатів і висновків (рис. 1).

У випадках експериментальних досліджень *in vitro* додатково враховували елементи шкали Cochrane Risk of Bias Tool, зокрема щодо рандомізації, блайндингу та повноти представлення даних. Загалом понад 80 % включених джерел відповідали середньому або високому рівню якості, що забезпечує високу достовірність узагальнених результатів систематичного аналізу.

Результати та їх обговорення. Цифровізація сучасної стоматології передбачає поступовий перехід від традиційних аналогових методів фіксації клінічних параметрів до повністю цифрових технологій, зокрема використання внутрішньоротових сканерів.

Як зазначають А. Зарбахш (А. Zarbakhsh) та співавт. [10, с. 5649], внутрішньоротове сканування забезпечує створення цифрових відбитків високої точності, усуваючи похибки, пов'язані з усадкою відбиткових матеріалів або ручним етапом виготовлення гіпсових моделей. Подібні висновки наведено в систематичному огляді [3, с. 73], де доведено, що цифрові відбитки забезпечують стабільну точність і відтворюваність при мінімізації впливу людського чинника та скороченні лабораторних етапів.

Дослідження Н. Гавалі (N. Gawali) та співавт. [11, с. 1920] підтвердило, що цифрові технології,

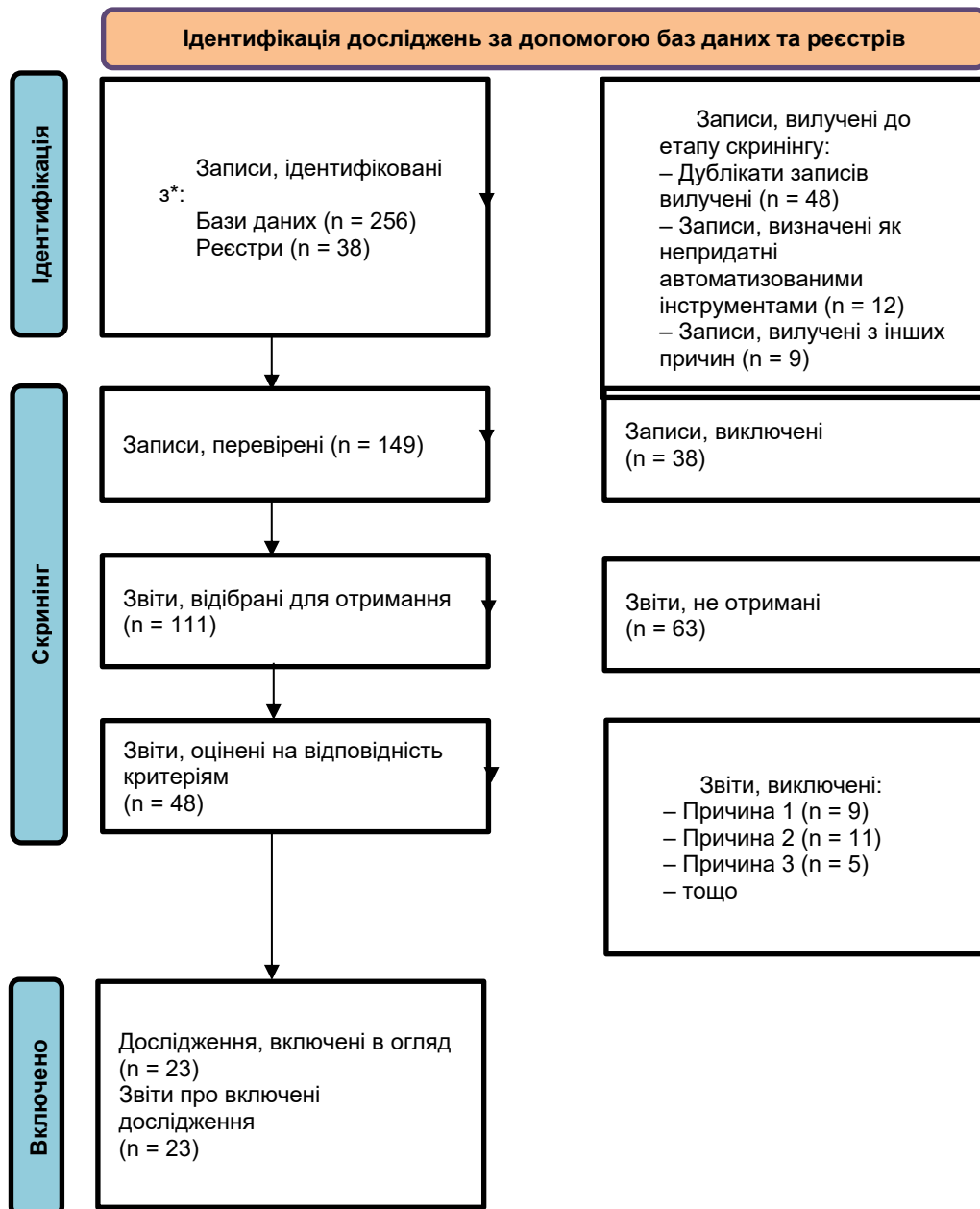


Рис. 1. PRISMA-2020 схема відбору досліджень

зокрема фотограмметрія та внутрішньоротове сканування, забезпечують вищу точність порівняно з традиційними методами, особливо у випадках протезування на імплантатах. У роботі С. Посрітонг (S. Posritong), К. Чукиятмун (K. Chukiatmun) [12, с. 121] також зазначено, що цифрові відбитки демонструють клінічно прийнятний рівень точності, який не поступається традиційним силіконовим зліпкам, водночас скорочуючи тривалість маніпуляцій та покращуючи комфорт пацієнта.

Сучасне дослідження, проведене Г. М. Ель-Рефай (H. M. El-Refay) та співавт. на моделях «all-on-four» [13, с. 186], показало, що цифрові

імпресії характеризуються меншою деформацією та кращою відтворюваністю просторових параметрів порівняно з традиційними відбитками.

У свою чергу, застосування інтраоральних сканерів у клінічній практиці відкриває можливість формування високоточних тривимірних моделей, які слугують основою для CAD/CAM-моделювання ортопедичних конструкцій, підвищуючи ефективність і передбачуваність лікувального процесу [14, с. 886].

Згідно з даними М. Абдулла (M. Abdulla) та співавт. [15, с. 95], використання CAD/CAM-технологій забезпечує створення конструкцій

із високою точністю підгонки, що досягається завдяки автоматизованому контролю етапів фрезерування та полімеризації. Подібні висновки наводять Х. Амезуа (X. Amezuza) та колеги [16, с. 382], які зазначають, що цифрове сканування обличчя й віртуальні фейсбоу-методи дають змогу досягти точнішої передачі міжщелепних співвідношень у віртуальному артикуляторі.

Й. Тянь (Y. Tian) та співавт. у своєму огляді [17, с. 9950131] проаналізували сучасні технології тривимірного друку, що застосовуються в стоматології, а також фактори, що впливають на точність, механічні властивості й біосумісність надрукованих матеріалів. Автори наголошують, що 3D-друк відкриває можливості для персоналізованого виготовлення ортопедичних конструкцій, хірургічних шаблонів та анатомічних моделей, істотно оптимізуючи процес лікування.

П. В. Бора (P. V. Bora) та співавт. провели експериментальне дослідження з порівняння зносостійкості та опору втомі емалі при контакті з 3D-друкованими смолами та літійдисилікатною керамікою [18, с. e1]. Результати показали, що сучасні 3D-друковані композити мають показники, близькі до традиційних керамічних матеріалів, що підтверджує перспективність їх використання для виготовлення постійних ортопедичних конструкцій.

Й. Озден (Y. Özden), Л. Алтинок Уйгун (L. Altınok Uygun) вивчали вплив тривалості післяопромінення на точність виготовлення постійних вкладок із фотополімерних смол [19, с. 244]. Автори встановили, що час післяотвердіння суттєво впливає на геометричну точність відтворення конструкцій, а оптимізація цього параметра є ключовою для досягнення клінічної точності.

Лепіді Л. (L. Lepidi) та співавт. [20, с. 24] проаналізували розвиток і клінічне застосування віртуальних артикуляторів та цифрових процедур прикріплення ортопедичних елементів. Результати дослідження засвідчили, що використання віртуальних систем забезпечує високоточне відтворення функціональних рухів нижньої щелепи, підвищуючи ефективність цифрового моделювання оклюзії та сприяючи прогнозованим результатам протезування.

Важливою складовою сучасного цифрового протоколу є використання 3D-друку для виготовлення індивідуальних шаблонів і тимчасових конструкцій [21, с. 22]. За даними М. М. Метані (M.M. Methani) та М. Ревілья-Леон (M. Revilla-León) [22, с. 182], адитивне виробництво забезпечує досить високу точність виготовлення

керамічних та цирконієвих реставрацій, які не поступаються традиційним аналогам за міцністю та стабільністю, скорочуючи при цьому кількість лабораторних маніпуляцій.

Маркеш С. (S. Marques) та колеги [23, с. 1020] встановили, що цифрові відбитки при імплантації характеризуються вищою точністю позиціонування імплантатів порівняно з традиційними аналоговими відбитками. Водночас Дж. Лі (J. Li) та співавт. [21, с. 25] зазначають, що навіть економічні варіанти віртуальних фейсбоу-систем на основі смартфонів забезпечують прийнятну точність для клінічного використання, що свідчить про демократизацію цифрових технологій у стоматології.

Обмеження дослідження. Під час аналізу було виявлено низку потенційних джерел упередженості, які могли вплинути на повноту вибірки та інтерпретацію результатів. Зокрема, неповнота вибірки могла бути зумовлена обмеженням доступом до окремих наукометричних баз даних, а також невключенням так званої «сірої» літератури, що потенційно містить релевантні наукові результати. Мовні обмеження, пов'язані з урахуванням лише англійських та українських публікацій, також могли призвести до втрати частини даних, опублікованих іншими мовами. Додатковим чинником стала відсутність доступу до баз Embase та Cochrane Library, що певною мірою звузило джерельну базу дослідження та могло зменшити репрезентативність отриманих висновків.

Висновки. Цифрова стоматологія відкриває нові можливості для персоналізованого планування лікування, у межах якого кожен пацієнт отримує індивідуальний підхід, адаптований до його анатомічних, функціональних та естетичних особливостей. Практичне значення цифрових технологій полягає у підвищенні точності діагностики та лікування, прогнозованості клінічних результатів і поліпшенні якості життя пацієнтів.

У сучасній клінічній практиці технології CAD/CAM і 3D-друку забезпечують виготовлення ортопедичних конструкцій, максимально адаптованих до індивідуальної анатомії щелеп, що мінімізує ризик невідповідностей і потребу в повторних клінічних відвідуваннях. Використання цифрових лицевих дуг і віртуальних артикуляторів сприяє точному моделюванню міжщелепних співвідношень, забезпечуючи гармонійність обличчя та запобігаючи розвитку ускладнень, зокрема порушень оклюзії або функціонального дискомфорту.

Технології цифрового моделювання усмішки (DSD) інтегрують естетичні та функціональні

аспекти лікування, дозволяючи здійснювати попередню візуалізацію кінцевого результату та підвищувати рівень залученості й задоволеності пацієнтів.

Використання цифрових технологій має практичні переваги у скороченні тривалості лікування. Застосування 3D-друку для виготовлення діагностичних шаблонів зменшує кількість клінічних відвідувань і підвищує ефективність комунікації між лікарем та технічною лабораторією. Це особливо важливо у складних клінічних випадках, коли персоналізоване протезування на імплантатах або тотальна реконструкція зубного ряду потребують високої точності, відтворюваності та прогнозованості результатів, що мінімізує ризик повторних корекцій.

Література:

1. Redefining digital dentistry: multidisciplinary applications of 3D printing for personalized dental care / R. Almarshadi et al. *Cureus.*, 2025, 17(6), e86791. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.86791>
2. Validation of Digital Impressions' Accuracy Obtained Using Intraoral and Extraoral Scanners: A Systematic Review / N. Shah et al. *Journal of Clinical Medicine.* 2023. Vol. 12, no. 18. P. 5833. URL: <https://doi.org/10.3390/jcm12185833> (date of access: 11.10.2025).
3. Accuracy of Full-Arch Intraoral Scans Versus Conventional Impression: A Systematic Review with a Meta-Analysis and a Proposal to Standardise the Analysis of the Accuracy / P. Pesce et al. *Journal of Clinical Medicine.* 2024. Vol. 14, no. 1. P. 71. URL: <https://doi.org/10.3390/jcm14010071> (date of access: 11.10.2025).
4. Accuracy of intraoral scanning in completely and partially edentulous maxillary and mandibular jaws: an in vitro analysis / M. Schimmel et al. *Clinical Oral Investigations.* 2020. URL: <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03486-z> (date of access: 11.10.2025).
5. Digital smile design / P. A. Thomas et al. Digital smile design. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences.* 2022. Vol. 14, Suppl. 1. P. S43–S49. URL: https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_164_22 (date of access: 11.10.2025).
6. Проценко Н. С. Впровадження CAD/CAM технологій в ортопедичній стоматології. *Вісник стоматології.* 2024. № 1 (126). С. 233–236. DOI: <https://doi.org/10.35220/2078-8916-2024-51-1.39>
7. Кузик І., Котельбан А. Використання штучного інтелекту в ортодонції. *Експериментальна і клінічна медицина.* 2023. № 4 (92). С. 70–80. DOI: <https://doi.org/10.35339/ekm.2023.92.4.kuk>
8. Куцюк А. А. Ефективність цифрових і звичайних відбитків, що застосовуються при заміщенні дефектів твердих тканин зубів бічних зубів: оцінка сприйняття пацієнтів, комфорту лікування та витраченого часу. *Сучасна стоматологія.* 2024. № 4. С. 33–40. DOI: <https://doi.org/10.33295/1992-576X-2024-4-33>
9. Challenges and Opportunities in Implementing Digital Technology in Dental Curriculum: A Review and Perspective / H. Ohyama et al. *Cureus.* 2025. URL: <https://doi.org/10.7759/cureus.83272> (date of access: 11.10.2025).
10. Accuracy of digital impression taking using intraoral scanner versus the conventional technique / A. Zarbakhsh et al. *Frontiers in Dentistry.* 2021. Vol. 18, No. 6. P. 5649. URL: <https://doi.org/10.18502/fid.v18i6.5649> (date of access: 11.10.2025).
11. The Evolution of Digital Dentistry: A Comprehensive Review / N. Gawali, R. Banga, S. Shinde, et al. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences.* 2024. Vol. 16, Suppl. 3. P. S1920–S1922. URL: https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_11_24 (date of access: 11.10.2025).
12. Posritong S., Chukiatmun K. Accuracy of Intraoral Scanners Compare with Conventional Impression Techniques in Vivo Study: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of The Department of Medical Services.* 2021. Vol. 46, No. 2. P. 121–131. URL: <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/JDMS/article/view/253571> (date of access: 11.10.2025).
13. The accuracy of digital impression with different intraoral scanners on maxillary all on four implants: an in vitro study / H. M. El-Refay et al. *BMC Research Notes.* 2025. Vol. 18, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s13104-025-07235-x> (date of access: 11.10.2025).
14. Chen Y., Wei J. Application of 3D Printing Technology in Dentistry: A Review. *Polymers.* 2025. Vol. 17, no. 7. P. 886. URL: <https://doi.org/10.3390/polym17070886> (date of access: 11.10.2025).
15. Abdulla M., Ali H., Jamel R. CAD-CAM Technology: A literature review. *Al-Rafidain Dental Journal.* 2020. Vol. 20, no. 1. P. 95–113. URL: <https://doi.org/10.33899/rden.2020.164542> (date of access: 11.10.2025).
16. Amezua X., Di Fiore A., Montalenti L., Corvino E., Galantucci L., Catapano S. Analysis of the impact of the facial scanning method on the precision of a virtual facebow record technique: An in vivo study. *The Journal of Prosthetic Dentistry.* 2021. Vol. 130, Issue 3. P. 382–391. URL: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.10.025> (date of access: 11.10.2025).
17. A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications / Y. Tian et al. *Scanning.* 2021. Vol. 2021. P. 1–19. URL: <https://doi.org/10.1155/2021/9950131> (date of access: 11.10.2025).
18. Enamel wear and fatigue resistance of 3D printed resin compared with lithium disilicate / P. V. Bora et al. *The Journal of Prosthetic Dentistry.* 2024. Vol. 133, Issue 2. P. 523.e1–523.e9. URL: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.10.024> (date of access: 11.10.2025).
19. Özden Y., Altınok Uygün L. Effects of postcuring times on the trueness of 3D -printed dental inlays made with permanent resins. *Clinical Oral Investigations.*

2025. Vol. 29, No. 5. P. 244. URL: <https://doi.org/10.1007/s00784-025-06319-z> (date of access: 11.10.2025).

20. Virtual Articulators and Virtual Mounting Procedures: Where Do We Stand? / L. Lepidi et al. *Journal of Prosthodontics*. 2021. Vol. 30, No. 1. P. 24–35. URL: <https://doi.org/10.1111/jopr.13240> (date of access: 11.10.2025).

21. Trueness and Precision of Economical Smartphone-Based Virtual Facebow Records / J. Li et al. *Journal of Prosthodontics*. 2021. Vol. 31, No. 1. P. 22–29. URL: <https://doi.org/10.1111/jopr.13366> (date of access: 11.10.2025).

22. Methani M. M., Revilla-León M., Zandinejad A. The potential of additive manufacturing technologies and their processing parameters for the fabrication of all-ceramic crowns: A review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2020. Vol. 32, No. 2. P. 182–192. URL: <https://doi.org/10.1111/jerd.12535> (date of access: 11.10.2025).

23. Digital Impressions in Implant Dentistry: A Literature Review / S. Marques et al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Vol. 18, no. 3. P. 1020. URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph18031020> (date of access: 11.10.2025).

References:

1. Almarshadi, R., Hamdi, S., Hadi, F., Alshehri, A., Alsahafi, R., Aljohani, N., Alyamani, R., Alhbchi, M., Alqahtani, N., Almutiri, R., Alqadi, T., Alhabardi, A., Abu Aziz, K., & Alshammeri, T. (2025). Redefining digital dentistry: Multidisciplinary applications of 3D printing for personalized dental care. *Cureus*, 17(6), e86791. <https://doi.org/10.7759/cureus.86791>

2. Shah, N., Thakur, M., Gill, S., Shetty, O., Alqahtani, N. M., Al-Qarni, M. A., Alqahtani, S. M., Elagib, M. F. A., & Chaturvedi, S. (2023). Validation of Digital Impressions' Accuracy Obtained Using Intraoral and Extraoral Scanners: A Systematic Review. *Journal of Clinical Medicine*, 12(18), 5833. <https://doi.org/10.3390/jcm12185833>

3. Pesce, P., Nicolini, P., Caponio, V. C. A., Zecca, P. A., Canullo, L., Isola, G., Baldi, D., De Angelis, N., & Menini, M. (2024). Accuracy of full-arch intraoral scans versus conventional impression: A systematic review with a meta-analysis and a proposal to standardise the analysis of the accuracy. *Journal of Clinical Medicine*, 14(1), 71. <https://doi.org/10.3390/jcm14010071>

4. Schimmel, M., Akino, N., Srinivasan, M., Witneben, J.-G., Yilmaz, B., & Abou-Ayash, S. (2021). Accuracy of intraoral scanning in completely and partially edentulous maxillary and mandibular jaws: an in vitro analysis. *Clinical Oral Investigations*, 25(4), 1839–1847. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03486-z>

5. Thomas, P. A., Krishnamoorthi, D., Mohan, J., Raju, R., Rajajayam, S., & Venkatesan, S. (2022). Digital smile design. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 14(Suppl 1), S43–S49. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_164_22

6. Proshchenko, N. S. (2024). Vprovadzhennia CAD/CAM tekhnolohii v ortopedychnii stomatolohii [Implementation of CAD/CAM technologies in prosthetic dentistry]. *Visnyk stomatolohii – Bulletin of Dentistry*, 1(126), 233–236. <https://doi.org/10.35220/2078-8916-2024-51-1.39>

7. Kuzyk, I., & Kotelban, A. (2023). Vykorystannia shtuchnoho intelektu v ortodontii [Use of artificial intelligence in orthodontics]. *Eksperymentalna i klinichna medytsyna – Experimental and Clinical Medicine*, 4(92), 70–80. <https://doi.org/10.35339/ekm.2023.92.4.kuk>

8. Kutsiuk, A. A. (2024). Efektyvnist tsyfrovyykh i zvychainykh vidbytkiv, shcho zastosovuiutsia pry zamishchenni defektiv tverdykh tkanyin zubiv bichnykh zubiv: otsinka spryiniattia patsientiv, komfortu likuvannia ta vytrachenoho chasu [Effectiveness of digital and conventional impressions used for the replacement of hard tissue defects of posterior teeth: evaluation of patient perception, treatment comfort, and time spent]. *Suchasna stomatolohiia – Modern Dentistry*, 4, 33–40. <https://doi.org/10.3295/1992-576X-2024-4-33>

9. Ohyama, H., Duong, M.-L., Yancoskie, A. E., Smiley, A. B., Syed, A. Z., Reddy, M. S., & Bencharit, S. (2025). Challenges and opportunities in implementing digital technology in dental curriculum: A review and perspective. *Cureus*, 17(4), e83272. <https://doi.org/10.7759/cureus.83272>

10. Zarbakhsh, A., Jalalian, E., Samiei, N., Mahgoli, M. H., & Kaseb Ghane, H. (2021). Accuracy of digital impression taking using intraoral scanner versus the conventional technique. *Frontiers in Dentistry*, 18, 6. <https://doi.org/10.18502/fid.v18i6.5649>

11. Gawali, N., Shah, P. P., Gowdar, I. M., Bhavsar, K. A., Giri, D., & Laddha, R. (2024). The evolution of digital dentistry: A comprehensive review. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 16(Suppl 3), S1920–S1922. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_11_24

12. Posritong, S., & Chukiatmun, K. (2021). Accuracy of intraoral scanners compared with conventional impression techniques in vivo study: A systematic review and meta-analysis. *Journal of the Department of Medical Services*, 46(2), 121–131. Retrieved from <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/JDMS/article/view/253571>

13. El-Refay, H. M., Abdelaziz, M. S., Cheta, N. M., & Abdallah, M. F. (2025). The accuracy of digital impression with different intraoral scanners on maxillary all on four implants: an in vitro study. *BMC Research Notes*, 18(1), 186. <https://doi.org/10.1186/s13104-025-07235-x>

14. Chen, Y., & Wei, J. (2025). Application of 3D printing technology in dentistry: A review. *Polymers*, 17(7), 886. <https://doi.org/10.3390/polym17070886>

15. Abdulla, M., Ali, H., & Jamel, R. (2020). CAD-CAM Technology: A literature review. *Al-Rafidain Dental Journal*, 20(1), 95–113. <https://doi.org/10.33899/rden.2020.164542>

16. Amezuza, X., Iturrate, M., Garikano, X., & Solaberrieta, E. (2023). Analysis of the impact of the facial scanning method on the precision of a virtual facebow record technique: An in vivo study. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 130(3), 382–391. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.10.025>
17. Tian, Y., Chen, C., Xu, X., Wang, J., Hou, X., Li, K., Lu, X., Shi, H., Lee, E.-S., & Jiang, H. B. (2021). A review of 3D printing in dentistry: Technologies, affecting factors, and applications. *Scanning*, 2021, 9950131. <https://doi.org/10.1155/2021/9950131>
18. Bora, P. V., Lawson, N. C., Givan, D. A., Arce, C., & Roberts, H. (2025). Enamel wear and fatigue resistance of 3D printed resin compared with lithium disilicate. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 133(2), 523.e1-523.e9. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.10.024>
19. Özden, Y., & Altınok Uygun, L. (2025). Effects of post-curing times on the trueness of 3D -printed dental inlays made with permanent resins. *Clinical Oral Investigations*, 29(5), 244. <https://doi.org/10.1007/s00784-025-06319-z>
20. Lepidi, L., Galli, M., Mastrangelo, F., Venezia, P., Joda, T., Wang, H.-L., & Li, J. (2021). Virtual articulators and virtual mounting procedures: Where do we stand? *Journal of Prosthodontics: Official Journal of the American College of Prosthodontists*, 30(1), 24–35. <https://doi.org/10.1111/jopr.13240>
21. Li, J., Chen, Z., Decker, A. M., Wang, H.-L., Joda, T., Mendonca, G., & Lepidi, L. (2022). Trueness and precision of economical smartphone-based virtual facebow records. *Journal of Prosthodontics: Official Journal of the American College of Prosthodontists*, 31(1), 22–29. <https://doi.org/10.1111/jopr.13366>
22. Methani, M. M., Revilla-León, M., & Zandinejad, A. (2020). The potential of additive manufacturing technologies and their processing parameters for the fabrication of all-ceramic crowns: A review. *Et al [Journal of Esthetic and Restorative Dentistry]*, 32(2), 182–192. <https://doi.org/10.1111/jerd.12535>
23. Marques, S., Ribeiro, P., Falcão, C., Lemos, B. F., Ríos-Carrasco, B., Ríos-Santos, J. V., & Herrero-Climent, M. (2021). Digital impressions in implant dentistry: A literature review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1020. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031020>