



УДК 616.314:004.9+681.6

DOI <https://doi.org/10.11603/2311-9624.2026.1.16342>

О. Я. Білінський

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0081-2346>

І. Ю. Гангур

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0651-0653>

М. Е. Ізай

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5636-9614>

В. Е. Ізай

ORCID <https://orcid.org/0009-0001-8257-3384>

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТРИВИМІРНОГО ДРУКУ В ПРАКТИЧНІЙ СТОМАТОЛОГІЇ

О. Ya. Bilynskiy, I. Yu. Hanhur, M. E. Izay, V. E. Izay

State University "Uzhhorod National University"

POSSIBILITIES OF USING MODERN THREE-DIMENSIONAL PRINTING TECHNOLOGIES IN PRACTICAL DENTISTRY

ІНФОРМАЦІЯ

Електронна адреса
для листування:
lexander.bilinskij@uzhnu.edu.ua

Надійшла до редакції:
14.02.2026

Схвалено до друку: 19.03.2026
Опубліковано: 12.05.2026



Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу
(CC BY 4.0)

Ключові слова: 3D-друк, цифрові технології, протезування, ортопедія, стоматологія.

АНОТАЦІЯ

Вступ. Сьогодні 3D-друк став більш доступним і робить персоналізовану стоматологію більш доступною та ефективною, приносячи користь як лікарям, так і пацієнтам. Завдяки стоматологічному 3D-друку стоматологи можуть надавати більш точні та персоналізовані процедури для пацієнтів.

Мета. Оцінити можливості застосування 3D-друку в різних галузях стоматології та проаналізувати його переваги й перспективи розвитку. Методи. З метою формування первинної вибірки наукових джерел було здійснено пошук публікацій із використанням сервісу Google Scholar (<https://scholar.google.com/>), PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>), ResearchGate (<https://www.researchgate.net/>), та набору ключових слів відповідно до тематики дослідження.

Результати. У роботі проведено аналіз літературних джерел щодо аспектів тривимірного друку, зокрема технологій, типів матеріалів, клінічного застосування та перспектив для розвитку цього напрямку в стоматології. **Висновки.** 3D-друк значно розширює можливості сучасної стоматології, забезпечуючи точність, індивідуалізацію та ефективність лікування в ортопедії, хірургії, імплантології та ортодонтії. Водночас широке впровадження технології стримує висока вартість матеріального забезпечення і складність робочих процесів. Подальший розвиток потребує стандартизації, міждисциплінарної співпраці та впровадження інтегрованих цифрових рішень.

INFORMATION

Email address
for correspondence:
lexander.bilinskij@uzhnu.edu.ua

Received: 14.02.2026
Accepted: 19.03.2026
Published: 12.05.2026

Key words: 3D printing, digital technologies, prosthetics, orthopedics, dentistry.

ABSTRACT

Introduction. Today 3D printing has become more accessible and is making personalized dentistry more available and efficient, benefiting both doctors and patients. With dental 3D printing, dentists can provide more accurate and personalized procedures for patients.

Objective. To assess the possibilities of using 3D printing in various fields of dentistry and analyze its advantages and development prospects.

Methods. In order to form the primary initial sample of publications, a search for such publications was conducted using the Google Scholar (<https://scholar.google.com/>), PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>), ResearchGate (<https://www.researchgate.net/>) services and a set of relevant keywords.

Results. The study presents an analysis of various aspects of three-dimensional printing, including technologies, types of materials, clinical applications, and prospects for the development of this field in dentistry.

Conclusions. 3D printing significantly expands the capabilities of modern dentistry by providing precision, personalization, and treatment efficiency in prosthodontics, surgery, implantology, and orthodontics. At the same time, its widespread adoption is hindered by the high cost of equipment and the complexity of workflow processes. Further development requires standardization, interdisciplinary collaboration, and the implementation of integrated digital solutions.

Вступ. Технології тривимірного (3D) друку – це передові технології виробництва, засновані на цифрових моделях автоматизованого проектування для автоматичного створення персоналізованих 3D-об'єктів [33, 40]. Термін 3D-друк зазвичай використовується для опису виробничого підходу, який створює об'єкти по одному шару за раз, додаючи щоразу кілька шарів для формування об'єкта. Цей процес правильніше описувати як адитивне виробництво, який також називають швидким прототипуванням [5]. Він заснований на цифрових моделях автоматизованого проектування (CAD) з використанням стандартизованих матеріалів для створення персоналізованих 3D-об'єктів за допомогою певних автоматичних процесів [4, 20, 36]. Застосування систем автоматизованого проектування (CAD) і комп'ютеризованого виробництва (CAM) в стоматології значно просунулося вперед за останні кілька десятиліть. Це призвело до розробки нових класів матеріалів, а також до оцифрування та автоматизації різних робочих процесів [17].

Мета. Оцінити можливості застосування 3D-друку в різних галузях стоматології та проаналізувати його переваги й перспективи розвитку.

Матеріали та методи. У рамках підготовки статті було проведено ретельний огляд існуючої сучасної літератури з питань впровадження цифрових технологій у стоматологічну практику, зокрема 3D-друку. Пошук наукових джерел здійснювався за допомогою загальнодоступних електронних баз даних: PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>), ResearchGate

(<https://www.researchgate.net/>) та Google Scholar (<https://scholar.google.com/>). Для виявлення релевантної літератури використовувався набір ключових слів: «3D-друк», «цифрові технології», «стоматологія», «3D-моделювання».

У процесі аналізу відібраних наукових публікацій основну увагу було зосереджено на таких досліджуваних категоріях:

- технологічні аспекти тривимірного друку, зокрема типи матеріалів, що використовуються у стоматології, особливості адитивного виробництва та їхня роль у забезпеченні точності й індивідуалізації стоматологічних конструкцій;
- клінічне застосування 3D-друку в різних напрямках стоматології, з акцентом у виготовленні протезів, хірургічних шаблонів та моделей щелеп;
- вплив цифрових технологій на якість лікування та взаємодію з пацієнтом.

Результати та їх обговорення. У сучасній стоматології відбувається активне впровадження цифрових технологій, серед яких провідне місце займає 3D-друк, що суттєво змінює підходи до діагностики, планування та лікування пацієнтів [30, 31]. Розвиток адитивних технологій у стоматології дозволяє виготовляти високоточні індивідуалізовані конструкції для ортопедичного протезування, хірургічних втручань та ортодонтичного лікування [1].

В ортопедичній стоматології 3D-друк використовується для виготовлення коронок і мостоподібних протезів, повних знімних протезів, а також частково знімних протезів [22, 25]. Завдяки використанню цієї технології

значно скорочується час виготовлення конструкції, покращується точність і щільність прилягання протезів, що підвищує комфорт для пацієнта [16]. Крім того, тривимірний друк дозволяє досягти високої деталізації виробів при знижених матеріальних витратах [28].

У щелепно-лицевій хірургії 3D-друк використовується для виготовлення оклюзійних шин, хірургічних імплантів, протезів та робочих моделей [13]. Технологія дозволяє створювати імпланти з високою механічною міцністю та регульованою пористістю, що сприяє кращій остеоінтеграції [11].

У сфері оральної імплантології 3D-друк використовується для створення хірургічних шаблонів і індивідуалізованих ложок для зняття відбитків. Надруковані хірургічні шаблони дозволяють більш точно позиціонувати імпланти, зменшуючи ймовірність помилок під час втручання. Індивідуальні ложки забезпечують високу ефективність і точність зняття відбитків, що є важливим для подальшого виготовлення ортопедичних конструкцій [26, 29, 32].

В ортодонтії 3D-друк застосовується для виготовлення робочих моделей, які використовуються для планування та виготовлення кап. Такі моделі мають хорошу якість поверхні, є легкими та довговічними. Вони забезпечують точне відтворення анатомічної форми зубів і щелеп, що дозволяє проводити більш прогнозоване ортодонтичне лікування та виготовляти індивідуальні апарати [16].

В ендодонтії застосування 3D-друку, зокрема технології SLA та фотополімерного струменевого друку, що сприяє підвищенню точності процедур. Це дозволяє виконувати менш інвазивні втручання, скорочує час лікування, знижує ризик технічних помилок і травм під час маніпуляцій [7, 42].

У парадонтології тривимірний друк дає змогу створювати каркаси для регенерації твердих і м'яких тканин, які відзначаються високою точністю та забезпечують щільний контакт з кістковими поверхнями [24]. Це сприяє ефективнішому загоєнню, дає змогу створювати більш складні конструкції, підвищує комфорт пацієнта після операції та дозволяє виготовляти більшу кількість індивідуалізованих каркасів у лабораторних умовах [23].

При виготовленні хірургічних шаблонів для гінгивектомії (з використанням технологій SLA, DLP та фотополімерного струменевого друку) досягається висока точність. Такі шаблони можуть бути адаптовані до конкретної клінічної ситуації, що підвищує ефективність і безпеку хірургічного втручання [24]. На відміну від традиційних методів, 3D-друк забезпечує можливість швидкого прототипування та зменшення витрат часу й матеріалів при

збереженні або навіть підвищенні якості кінцевого результату [9].

Конструкція більшості 3D-принтерів є відносно простою і базується на роботизованих системах, які виконують задані команди з високою точністю. Однак ключову роль у функціонуванні цих пристроїв відіграє не лише механіка, а й спеціалізоване програмне забезпечення для автоматизованого проектування (CAD), яке забезпечує створення віртуальних моделей об'єктів або комплексних конструкцій [34]. Системи CAD стали стандартом у промисловому проектуванні, машинобудуванні та виробництві, і водночас активно впроваджуються у сферу зуботехнічних лабораторій і клінічну стоматологічну практику [6]. Саме можливість генерувати об'ємні моделі є необхідною умовою ефективного використання 3D-друку в клінічній практиці. У стоматології та щелепно-лицевій хірургії створення таких моделей забезпечується не лише шляхом ручного проектування у CAD-середовищі, а й за допомогою отримання високоточних цифрових даних із таких джерел, як комп'ютерна томографія (КТ), конусно-променева комп'ютерна томографія (КПКТ), а також інтраоральне й лабораторне оптичне сканування [6].

У сучасній стоматології використовується кілька основних технологій друку. Стереолітографія (SLA) забезпечує високу точність і деталізацію, але потребує тривалої обробки [10]. Цифрова обробка світлом (DLP) вирізняється швидкістю друку й точністю, проте обмежена роздільною здатністю через розмір вокселя [3, 18]. FDM (моделювання методом пошарового наплавлення) є економною технологією, однак має низьку точність і працює лише з термопластиками [8]. Виготовляти деталі з металу чи полімерів без опор дозволяє метод селективного лазерного спікання/плавлення (SLS та SLM), проте він вимагає складної інфраструктури та дорогого обладнання [12, 18, 39]. Високу роздільну здатність і багатоматеріальність забезпечує фотополімерне струменеве друкування, однак воно має низьку міцність виробів і високу вартість обслуговування [18]. Друк з використанням силіконового порошку дозволяє застосовувати різні матеріали та швидко друкувати, але характеризується слабкими механічними властивостями та низькою точністю [18, 19]. Лазерний біо-друк (LAB) дає змогу створювати живі біоструктури, проте потребує надзвичайно точних умов і є вкрай дорогим [1].

Одним з ключових факторів, що визначає якість і ефективність 3D-друку в стоматології та біомедичних технологіях, є вибір і вдосконалення матеріалів. Продуктивність друку та властивості готових виробів значною мірою залежать від складу смол, полімерів і керамічних

композитів, що використовуються в процесі друку [2,41]. Дослідження показали, що навіть незначні добавки можуть суттєво змінити реакційну здатність матеріалу.

А. Vitale та його колеги виявили, що введення барвників в акрилові смоли уповільнює полімеризацію, тоді як використання спеціальних мономерів, навпаки – пришвидшує її та підвищує ступінь перетворення полімеру [35].

Водночас W.J.Wang з однодумцями говорять, що нанонаповнювачі – зокрема оксид графену, TiO_2 і SiO_2 та модифіковані синтетичні волокна – значно підвищують механічну міцність і жорсткість епоксидних смол, роблячи їх придатними для виготовлення точних функціональних моделей [37]. Jang з співавторами продемонстрували, що підвищення концентрації цирконію дозволяє значно підняти межу міцності на вигин, що критично важливо для довговічності протезів [14].

Використання 3D-друку в стоматології стрімко розвивається завдяки високій точності, ефективності та доступності цієї технології. Вона вже стала популярним методом виготовлення індивідуалізованих виробів, і з удосконаленням матеріалів і технік її потенціал лише зростає [33]. Зокрема, впроваджується 4D-друк – технологія, що дозволяє створювати матеріали, які змінюють форму під впливом зовнішніх чинників (температури, вологості, тиску). Це відкриває нові можливості, наприклад, створення реставрації або біоматеріалів, які адаптуються до складної анатомії або умов порожнини рота [3, 27].

Попри широкий потенціал, широке впровадження 3D-друку в клінічну практику досі обмежується додатковими витратами та часом, необхідним для виготовлення виробів з використанням сучасних технологій [21]. Освоєння повного робочого процесу може стати викликом для хірургів, оскільки включає

складні етапи, такі як постобробка медичних зображень, створення тривимірних моделей з виокремленням анатомічно значущих зон, передопераційне планування з урахуванням можливих варіантів, а також біомеханічна оцінка імплантів [38]. Існує нагальна потреба у розробці чітких керівних принципів, які б стандартизували та покращили звітність щодо досвіду використання 3D-друку в стоматологічній практиці [21].

Для підвищення доступності та привабливості тривимірного друку для ортопедів та хірургів К.С.Wong пропонує створити інтегровану комп'ютерну платформу формату “все в одному”. Така система мала б забезпечити зручне хірургічне планування та взаємодію між фахівцями різного профілю – радіологами, ортопедами, інженерами та виробниками імплантів. Централізація цифрових ортопедичних даних сприятиме персоналізації лікування, дозволяючи хірургам обирати найбільш оптимальні 3D-надруковані рішення відповідно до потреб конкретного пацієнта [38].

Висновки. 3D-друк демонструє вагомий потенціал у трансформації сучасної стоматології, забезпечуючи високу точність, індивідуалізацію та ефективність виготовлення стоматологічних конструкцій. Його застосування охоплює всі основні напрями – ортопедію, імплантологію, ортодонтію та щелепно-лицеву хірургію. Технологія дозволяє значно скоротити час клінічних процедур і покращити якість лікування. Однак її широке впровадження наразі стримується через високі витрати, складність освоєння процесів і відсутність стандартизованих протоколів. Подальший розвиток галузі потребує міждисциплінарної взаємодії та впровадження інтегрованих цифрових платформ для оптимізації планування та виробництва у стоматологічній практиці.

Список літератури

1. Ahn S. H., Lee J., Park S.A., Kim W.D. Three-dimensional bio-printing equipment technologies for tissue engineering and regenerative medicine. *Tissue Eng. Regen. Med.* 2016. Vol. 13. P. 663–676.
2. Almarshadi R, Hamdi S, Hadi F, Alshehri A, Alsahafi R, et al. Redefining Digital Dentistry: Multidisciplinary Applications of 3D Printing for Personalized Dental Care. *Cureus.* 2025. Vol. 17(6). e86791.
3. Al Hamad KQ, Al-Rashdan B., Ayyad J. Q., Al Omrani, Sharoh A., Al Nimri A., Al-Kaff. Additive Manufacturing of Dental Ceramics: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Prosthodont.* 2022. Vol. 31. P. e67–e86.
4. Alharbi N., Alharbi S., Cuijpers V., Osman R. B., Wismeijer D. Three-dimensional evaluation of marginal and internal fit of 3D-printed interim restorations fabricated on different finish line designs. *Journal of Prosthodontic Research.* 2018. Vol. 62(2). P. 218–226.
5. Alqutaibi A., Alghauli M., Aljohani M., Zafar M. Advanced additive manufacturing in implant dentistry: 3D printing technologies, printable materials, current applications and future requirements. *Bioprinting.* 2024. Vol. 42. e00356
6. Berli C, Thieringer F, Sharma N., et al. Comparing the mechanical properties of pressed, milled, and 3D-printed resins for occlusal devices. *Journal of Prosthetic Dentistry.* 2020. Vol. 124(6). P. 780–786.
7. Buniag A. G., Pratt A.M., Ray J. J. Targeted endodontic microsurgery: A retrospective outcomes assessment of 24 cases. *Journal of Endodontics.* 2021. Vol. 47. P. 762–769.
8. Cailleaux S., Sanchez-Ballester N. M., Gueche Y. A., Bataille B., Soulairel I. Fused Deposition Modeling (FDM), the new asset for the production of tailored medicines. *J. Control. Release.* 2021. Vol. 10. P. 821–841.

9. Dawood A., Marti B., Sauret-Jackson V. 3D printing in dentistry. *British Dental Journal*. 2015. Vol. 219(11). P. 521–529.
10. Della Bona A., Cantelli V., Britto V., Collares K., Stansbury J. 3D printing restorative materials using a stereolithographic technique: A systematic review. *Dent. Mater.* 2021. Vol. 37. P. 336–350.
11. Farré-Guasch E., Wolff J., Helder M.N., Schulten E., Forouzanfar T., Klein-Nulend J. Application of additive manufacturing in oral and maxillofacial surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2015. Vol. 73(12). P. 2408–2418.
12. Goguta L., Lungeanu D., Negru R., Birdeanu M., Jivanescu A., Sinescu C. Selective Laser Sintering versus Selective Laser Melting and Computer Aided Design–Computer Aided Manufacturing in Double Crowns Retention. *J. Prosthodont. Res.* 2021. Vol. 65. P. 371–378.
13. Jacobs C., Lin A. Y. A new classification of three-dimensional printing technologies. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2017. Vol. 139(5). P. 1211–1220.
14. Jang K. J., Kang J. H., Fisher J. G., Park S. W. Effect of the volume fraction of zirconia suspensions on the microstructure and physical properties of products produced by additive manufacturing. *Dental Materials*. 2019. Vol. 35(5). P. e97–e106.
15. Jeong M., Radomski K., Lopez D., Liu J.T., Lee J.D., Lee S.J. Materials and Applications of 3D Printing Technology in Dentistry: An Overview. *Dent. J. (Basel)*. 2023. Vol. 12(1). P. 1.
16. Kasparova M. Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3D digital study models. *Biomedical Engineering Online*. 2013. Vol. 12. Article 49.
17. Kessler A., Hickel R., Reymus M. 3D Printing in Dentistry–State of the Art. *Operative Dentistry*. 2020. Vol. 45(1). P. 30–40.
18. Khorsandi D., Fahimipour A., Abasian P., et al. 3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial surgery: Printing techniques, materials, and applications. *Acta Biomaterialia*. 2021. Vol. 122. P. 26–49.
19. Lee Y.C., Zheng J., Kuo J., Acosta-Vélez G.F., Linsley C., Wu B. Binder Jetting of Custom Silicone Powder for Direct Three-Dimensional Printing of Maxillofacial Prostheses. *3D Print. Addit. Manuf.* 2022. Vol. 9. P. 520–534.
20. Lin L., Fang Y., Liao Y., Chen G., Gao C., Zhu P. 3D printing and digital processing techniques in dentistry: a review of literature. *Advanced Engineering Materials*. 2019. Vol. 21(6). Article 1801013.
21. Martelli N., Serrano C., H. van den Brink, et al. Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: A systematic review. *Surgery*. 2016. Vol. 159(6). P. 1485–1500.
22. Munoz S., Ramos V., Dickinson D. Comparison of margin discrepancy of complete gold crowns fabricated using printed, milled, and conventional hand-waxed patterns. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2017. Vol. 118(1). P. 89–94.
23. Nesic D., Schaefer B., Sun Y., Saulacic N. 3D printing approach in dentistry: The future for personalized oral soft tissue regeneration. *Journal of Clinical Medicine*. 2020. Vol. 7. P. 2238.
24. Oberoi G., Nitsch S., Edelmayer M., Janijic K., Muller A. S., Agis H. 3D printing-encompassing the facets of dentistry. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2018. Vol. 6. P. 172.
25. Park J. Y., Jeong D., Lee J., Bae S., Kim J. In vitro assessment of the marginal and internal fits of interim implant restorations fabricated with different methods. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2016. Vol. 116(4). P. 536–542.
26. Piedra Cascon W., Revilla-Leon M. Digital workflow for the design and additively manufacture of a splinted framework and custom tray for the impression of multiple implants: a dental technique. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2018. Vol. 120(6). P. 805–811.
27. Salah M., Tayebi L., Moharamzadeh K., Naini F.B. Three-dimensional bio-printing and bone tissue engineering: Technical innovations and potential applications in maxillofacial reconstructive surgery. *Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery*. 2020. Vol. 42. P. 18.
28. Sampaio C., Niemann K., Schweitzer D., Hirata R., Atria P. Microcomputed tomography evaluation of cement film thickness of veneers and crowns made with conventional and 3D printed provisional materials. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2021. Vol. 33(3). P. 487–495.
29. Sanchez-Rubio J. L., Revilla-Leon M., Oteo-Calatayud J., Ozcan M. Impression technique for a complete-arch prosthesis with multiple implants using additive manufacturing technologies. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2017. Vol. 117(6). P. 714–720.
30. Schweiger J., Edelhoff D., Güth J. 3D Printing in Digital Prosthetic Dentistry: An Overview of Recent Developments in Additive Manufacturing. *Journal of Clinical Medicine*. 2021. Vol. 10(9). P. 2010.
31. Schweiger J., Güth J., Teamwork J. Neue Entwicklungen in der additiven und subtraktiven Fertigung. *Cont. Dent. Educ.* 2020. Vol. 23. P. 82–90.
32. Sun Y., Chen H., Li H., et al. Clinical evaluation of final impressions from three-dimensional printed custom trays. *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7(1). e 14958.
33. Tian Y., Chen C., Xu X., Wang J., Hou X., Li K. A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. *Scanning*. 2021. Vol. 2021. P. 9950131.
34. Trace A., Ortiz D., Deal A., et al. Radiology's emerging role in 3-D printing applications in health care. *Journal of the American College of Radiology*. 2016. Vol. 13(7). P. 856–862.
35. Vitale A., Cabral J.T. Frontal conversion and uniformity in 3D printing by photopolymerisation. *Materials*. 2016. Vol. 9(9). Article 760.
36. Vukicevic M., Mosadegh B., Min J.K., Little S. Cardiac 3D printing and its future directions. *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2017. Vol. 10(2). P. 171–184.
37. Wang W. J., Yung K. C., Choy H. S., Xiao T. Y., Cai Z. X. Effects of laser polishing on surface microstructure and corrosion resistance of additive manufactured CoCr alloys. *Applied Surface Science*. 2018. Vol. 443. P. 167–175.
38. Wong K. C. 3D-printed patient-specific applications in orthopedics. *Orthopedic Research and Reviews*. 2016. Vol. 8. P. 57–66.
39. Yang J., Li H., Xu L., Wang Y. Selective laser sintering versus conventional lost-wax casting for single metal copings: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2022. Vol. 128. P. 897–904.
40. Yangqing Chen, Junchao Wei. Application of 3D Printing Technology in Dentistry: A Review. *Polymers*. 2025. Vol. 17, № 7. P. 886.
41. Yüceer Ö. M., Kaynak Ö. E., Çiçek E. S., Aktaş N., Bankoğlu M. Three-Dimensional-Printed Photopolymer Resin Materials: A Narrative Review on Their Production Techniques and Applications in Dentistry. *Polymers (Basel)*. 2025. Vol. 17(3). P. 316.
42. Zehnder M. S., Connert T., Weiger R., Krastl G., Kuhl S. Guided endodontics: Accuracy of a novel method for guided access cavity preparation and root canal location. *International Endodontic Journal*. 2016. Vol. 49. P. 966–972.

References

- Ahn, S. H., Lee, J., Park, S. A., Kim, W. D. (2016). Three-dimensional bio-printing equipment technologies for tissue engineering and regenerative medicine. *Tissue Eng. Regen. Med.*, 13, 663–676.
- Almarshadi, R., Hamdi, S., Hadi, F., Alshehri, A., Alsahafi, R., et al. (2025). Redefining Digital Dentistry: Multidisciplinary Applications of 3D Printing for Personalized Dental Care. *Cureus*, 17(6), e86791.
- Al Hamad, KQ., Al-Rashdan, B., Ayyad, J.Q., Al Omrani, Sharoh, A., Al Nimri, A., Al-Kaff. (2022). Additive Manufacturing of Dental Ceramics: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Prosthodont*, 31, e67–e86.
- Alharbi, N., Alharbi, S., Cuijpers, V., Osman, R.B., Wismeijer, D. (2018). Three-dimensional evaluation of marginal and internal fit of 3D-printed interim restorations fabricated on different finish line designs. *Journal of Prosthodontic Research*, 62(2), 218–226.
- Alqutaibi, A., Alghauli, M., Aljohani, M., Zafar, M. (2024). Advanced additive manufacturing in implant dentistry: 3D printing technologies, printable materials, current applications and future requirements. *Bioprinting*, 42, e00356.
- Berli, C., Thieringer, F., Sharma, N., et al. (2020). Comparing the mechanical properties of pressed, milled, and 3D-printed resins for occlusal devices. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 124(6), 780–786.
- Buniag, A.G., Pratt, A.M., Ray, J.J. (2021). Targeted endodontic microsurgery: A retrospective outcomes assessment of 24 cases. *Journal of Endodontics*, 47, 762–769.
- Cailleaux, S., Sanchez-Ballester, N.M., Gueche, Y.A., Bataille B., Soulaire I. (2021). Fused Deposition Modeling (FDM), the new asset for the production of tailored medicines. *J. Control. Release*, 10, 821–841.
- Dawood, A., Marti, B., Sauret-Jackson, V. (2015). 3D printing in dentistry. *British Dental Journal*, 219(11), 521–529.
- Della Bona, A., Cantelli, V., Britto, V., Collares, K., Stansbury, J. (2021). 3D printing restorative materials using a stereolithographic technique: A systematic review. *Dent. Mater*, 37, 336–350.
- Farré-Guasch, E., Wolff, J., Helder, M.N., Schulten, E., Forouzanfar, T., Klein-Nulend, J. (2015). Application of additive manufacturing in oral and maxillofacial surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 73(12), 2408–2418.
- Goguta, L., Lungeanu, D., Negru, R., Birdeanu, M., Jivanescu, A., Sinescu, C. (2021). Selective Laser Sintering versus Selective Laser Melting and Computer Aided Design–Computer Aided Manufacturing in Double Crowns Retention. *J. Prosthodont. Res.*, 65, 371–378.
- Jacobs, C., Lin, A. Y. (2017). A new classification of three-dimensional printing technologies. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 139(5), 1211–1220.
- Jang, K.J., Kang, J.H., Fisher, J.G., Park, S.W. (2019). Effect of the volume fraction of zirconia suspensions on the microstructure and physical properties of products produced by additive manufacturing. *Dental Materials*, 35(5), e97–e106.
- Jeong, M., Radomski, K., Lopez, D., Liu, J. T., Lee, J. D., Lee, S. J. (2023). Materials and Applications of 3D Printing Technology in Dentistry: An Overview. *Dent. J. (Basel)*, 12(1), 1.
- Kasparova, M. (2013). Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3D digital study models. *Biomedical Engineering Online*, 12, 49.
- Kessler, A., Hickel, R., Reymus, M. (2020). 3D Printing in Dentistry–State of the Art. *Operative Dentistry*, 45(1), 30–40.
- Khorsandi, D., Fahimipour, A., Abasian, P., et al. (2021). 3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial surgery: Printing techniques, materials, and applications. *Acta Biomaterialia*, 122, 26–49.
- Lee, Y.C., Zheng, J., Kuo, J., Acosta-Vélez, G.F., Linsley, C., Wu, B. (2022). Binder Jetting of Custom Silicone Powder for Direct Three-Dimensional Printing of Maxillofacial Prostheses. *3D Print. Addit. Manuf*, 9, 520–534.
- Lin, L., Fang, Y., Liao, Y., Chen, G., Gao, C., Zhu, P. (2019). 3D printing and digital processing techniques in dentistry: a review of literature. *Advanced Engineering Materials*, 21(6), 1801013.
- Martelli, N., Serrano, C., H. van den Brink, et al. (2016). Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: A systematic review. *Surgery*, 159(6), 1485–1500.
- Munoz, S., Ramos, V., Dickinson, D. (2017). Comparison of margin discrepancy of complete gold crowns fabricated using printed, milled, and conventional hand-waxed patterns. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 118(1), 89–94.
- Nesic, D., Schaefer, B., Sun Y., Saulacic, N. (2020). 3D printing approach in dentistry: The future for personalized oral soft tissue regeneration. *Journal of Clinical Medicine*, 7, 2238.
- Oberoi, G., Nitsch, S., Edelmayer, M., Janijic, K., Muller, A. S., Agis, H. (2018). 3D printing-encompassing the facets of dentistry. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 6, 172.
- Park, J. Y., Jeong, D., Lee, J., Bae, S., Kim, J. (2016). In vitro assessment of the marginal and internal fits of interim implant restorations fabricated with different methods. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 116(4), 536–542.
- Piedra Cascon, W., Revilla-Leon, M. (2018). Digital workflow for the design and additively manufacture of a splinted framework and custom tray for the impression of multiple implants: a dental technique. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 120(6), 805–811.
- Salah, M., Tayebi, L., Moharamzadeh, K., Naini, F.B. (2020). Three-dimensional bio-printing and bone tissue engineering: Technical innovations and potential applications in maxillofacial reconstructive surgery. *Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery*, 42, 18.
- Sampaio, C., Niemann, K., Schweitzer, D., Hirata, R., Atria, P. (2021). Microcomputed tomography evaluation of cement film thickness of veneers and crowns made with conventional and 3D printed provisional materials. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(3), 487–495.
- Sanchez-Rubio, J. L., Revilla-Leon, M., Oteo-Calatayud, J., Ozcan, M. (2017). Impression technique for a complete-arch prosthesis with multiple implants using additive manufacturing technologies. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 117(6), 714–720.
- Schweiger, J., Edelhoff, D., Güth, J. (2021). 3D Printing in Digital Prosthetic Dentistry: An Overview of Recent Developments in Additive Manufacturing. *Journal of Clinical Medicine*, 10(9), 2010.
- Schweiger, J., Güth, J. (2020). Teamwork J. Neue Entwicklungen in der additiven und subtraktiven Fertigung. *Cont. Dent. Educ*, 23, 82–90.

32. Sun, Y., Chen, H., Li, H., et al. (2017). Clinical evaluation of final impressions from three-dimensional printed custom trays. *Scientific Reports*, 7(1), e 14958.
33. Tian, Y., Chen, C., Xu, X., Wang, J., Hou, X., Li, K. (2021). A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. *Scanning*, 2021, 9950131.
34. Trace, A., Ortiz, D., Deal, A., et al. (2016). Radiology's emerging role in 3-D printing applications in health care. *Journal of the American College of Radiology*, 13(7), 856–862.
35. Vitale, A., Cabral, J.T. (2016). Frontal conversion and uniformity in 3D printing by photopolymerisation. *Materials*, 9(9), 760.
36. Vukicevic, M., Mosadegh, B., Min, J.K., Little, S. (2017). Cardiac 3D printing and its future directions. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 10(2), 171–184.
37. Wang, W. J., Yung, K. C., Choy, H. S., Xiao, T. Y., Cai, Z. X. (2018). Effects of laser polishing on surface microstructure and corrosion resistance of additive manufactured CoCr alloys. *Applied Surface Science*, 443, 167–175.
38. Wong, K.C. (2016). 3D-printed patient-specific applications in orthopedics. *Orthopedic Research and Reviews*, 8, 57–66.
39. Yang, J., Li, H., Xu, L., Wang, Y. (2022). Selective laser sintering versus conventional lost-wax casting for single metal copings: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 128, 897–904.
40. Yangqing Chen, Junchao Wei. (2025). Application of 3D Printing Technology in Dentistry: A Review. *Polymers*, 17, 7, 886.
41. Yüceer, Ö.M, Kaynak, Ö.E, Çiçek, E.S, Aktaş, N., Bankoğlu, M. (2025). Three-Dimensional-Printed Photopolymer Resin Materials: A Narrative Review on Their Production Techniques and Applications in Dentistry. *Polymers (Basel)*, 17(3), 316.
42. Zehnder, M. S., Connert, T., Weiger, R., Krastl, G., Kuhl S. (2016). Guided endodontics: Accuracy of a novel method for guided access cavity preparation and root canal location. *International Endodontic Journal*, 49, 966–972.