

Techniki cyfrowe w protetyce stomatologicznej

Digital techniques in dental prosthetics

Zdzisław Artur Bogucki¹, Ilona Fleischer¹, Paweł Ciepliński²

¹ Katedra Protetyki Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu
Chair of Dental Prosthetics, The Piastow Slaskich Medical University in Wrocław
Kierownik: dr hab. n. med. Edward Kijak

² Laboratorium Techniki Dentystycznej Poradni Protetyki Stomatologicznej,
Akademicka Poliklinika Stomatologiczna
Dental Technology Laboratory at the Dental Prosthetics Clinic, Dental Polyclinic

HASŁA INDEKSOWE:

stomatologia cyfrowa, protetyczne techniki cyfrowe, skanowanie wewnątrzustne, wyciski cyfrowe, laboratoryjne techniki cyfrowe

KEY WORDS:

digital dentistry, digital prosthetic techniques, intraoral scanning, digital impressions, digital laboratory techniques

Streszczenie

Cyfryzacja protetyki stomatologicznej zapoczątkowana rozwojem systemów CAD/CAM przeżywa obecnie intensywny rozwój związany z postępującą integracją nowych technologii. Połączenie dostępnych metod pozwala na przetwarzanie zeskanowanych obrazów z użyciem zaawansowanych algorytmów, dając pełniejszy zestaw informacji o pacjencie, dzięki rozszerzonym możliwościom symulacji i analizy. W rezultacie nowoczesne cyfrowe technologie umożliwiają efektywne planowanie procesu leczenia protetycznego, a wygenerowane dane mogą posłużyć do wizualizacji końcowych efektów estetycznych oraz wytworzenia pracy protetycznej w całkowicie cyfrowym procesie.

Summary

Digitization of dental prosthetics initiated by the development of CAD/CAM systems is currently experiencing extensive development related to the progressive integration of new technologies. The combination of available methods enables processing of the scanned images using advanced algorithms, providing a more complete set of information about the patient due to extended simulation and analysis capabilities. As a result, modern digital technologies enable effective planning of the prosthetic treatment process, and the generated data can be used to visualize the final aesthetic effects and to produce prosthetic work in a fully digitalized process.

Pojawienie się pierwszych technik cyfrowych dotyczyło przemysłu. W 1957 roku Patrick J. Hanratty opracował program Pronto dla firmy General Motors – wykorzystywany do komputerowego sterowania urządzeń numerycznych, takich jak frezarki czy tokarki.

Była to technologia określona jako CAM: C – Computer, A – Aided, M – Manufacturing (Komputerowe Wspomaganie Wytwarzania). Natomiast w 1963 roku Ivan Shuterland stworzył – pierwszy interaktywny graficzny program komputerowy wspomagający rysowanie

Schetchpad – technologia określana w skrócie CAD: C – Computer, A – Aided, D – Design (Komputerowo Wspomagane Projektowanie). Techniki te, jak i terminologia zaczęły coraz szerzej wkraczać do codziennego życia. W stomatologii początki wykorzystania techniki CAD/CAM datuje się na lata siedemdziesiąte XX wieku, ale pierwsze badanie wewnątrzustne, techniką skanowania przeprowadzono i opisano w 1983 roku. Coraz szersze zastosowanie technik cyfrowych w protetyce obserwuje się od 1988 roku po pojawieniu się programu CEREC-1. Nazwa ta została utworzona jako skrót: CEramic REConstruction lub jak podają inne źródła: C – hairside, E – conomical, R – estoration of, E – stetic, C – eramics.¹⁻⁷

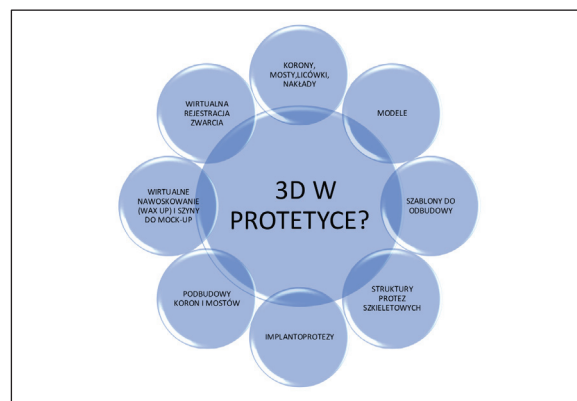
W ostatnich latach można zaobserwować bardzo szerokie wykorzystanie technik cyfrowych w różnych dziedzinach medycyny. Widoczne to jest także w stomatologii, a w szczególności w protetyce stomatologicznej. Cyfryzacja dotyczy w równej mierze postępowania klinicznego, jak i wykonawstwa laboratoryjnego uzupełnień protetycznych. Pojawienie się nowoczesnej aparatury, a w szczególności skanerów wewnątrzustnych oraz lepszego oprogramowania, zachęca coraz większą liczbę lekarzy stomatologów do wprowadzania i wykorzystywania ich w codziennej praktyce.⁸⁻¹¹ Zapewniają one bowiem poprawę szybkości wykonania badania, jak i samej pracy protetycznej, wygodę wynikającą z eliminowania wielu zbędnych czynności, poprawę precyzji i dokładności badania, a w konsekwencji także precyzję uzupełnienia protetycznego oraz lepszą, zwykle bezstresową, współpracę z pacjentem.¹²⁻¹⁷

Technika skanowania wewnątrzustnego jest wykorzystywana przy projektowaniu i wykonywaniu szerokiej gamy uzupełnień protetycznych (ryc.1). Skanery wewnątrzustne mogą mieć różne wielkości i oprzyrządowanie, występować w formie ruchomego urządzenia na kółkach, w postaci tabletu lub przenośnego komputera. Obecnie dostępna jest cała

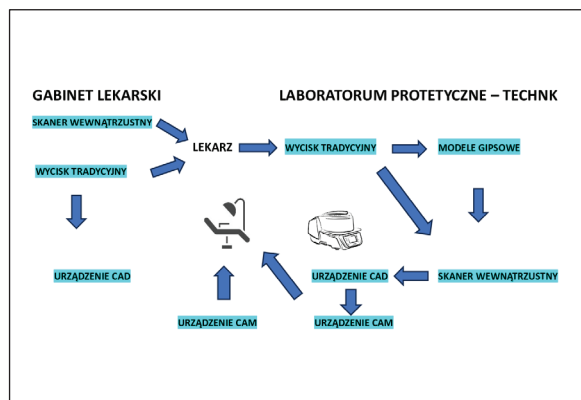
gama nowoczesnych skanerów protetycznych. Najczęściej wykorzystywane to:

- 3 SHAPE TRIOS 5 (charakterystyka urządzenia źródło światła – LED, scan assist engine – możliwe skanowanie w dowolnym kierunku, waga końcówki – 299 g, wygodny uchwyt piórowy, Format plików STL, PLY, DCM, nowe standardy higieny – jednorazowe rękawki, długotrwała bateria);
- CEREC PRIMESCAN (najważniejsze cechy: ostrość obrazu do 20 mm w głąb, przetwarzanie ponad miliona punktów 3D /S, brak opłat licencyjnych, ergonomiczna końcówka – 524,5 G, jezdna konsola);
- ITERO LUMINA (mała i lekka końcówka, fotorealistyczne skany, duża powierzchnia skanowania, szybkość skanowania).

Istotą działania systemu CAD/CAM jest ścisła współpraca lekarza protetyka z laboratorium protetycznym. Cyfrowy wynik badania – skan, przekazany elektronicznie i przetworzony komputerowo, umożliwia zaprojektowanie i precyzyjne wykonanie uzupełnienia protetycznego. W wykonaniu zaplanowanej protezy stosowane są różne techniki cyfrowe. Najszerzej wykorzystywane są drukowanie i frezowanie. Druk 3D jest metodą addytywną, charakteryzującą się warstwowym nanoszeniem materiału. Materiałami do drukowania mogą być metale i stopy metali, tworzywa termoplastyczne



Ryc. 1. Wykorzystanie technik 3D w protetyce stomatologicznej.



Ryc. 2. Elementy kliniczne i laboratoryjne techniki cyfrowej CAD/CAM.

SKANERY WEWNĄTRZYSTNE	SKANERY ZEWNĄTRZYSTNE	FREZARKI	DRUKARKI 3D
CEREC Primescan	3shape E4	InLab MC X5 SIRONA	NexDent 5100
3shape TRIOS	Medit T710	Roland DWX-52DCI	Formlabs Form 3
iTero Element 3D	Shining 3D	RS5+Magnetic	AnyCubic Photon mono 4k
Carestream CS 3700	InEOS X5	NeoBiotech Cameleon CS	Zortrax Inspire

Ryc. 3. Najczęściej wykorzystywane urządzenia cyfrowe w protetyce stomatologicznej.

oraz żywice. Przykładem jest technologia SLM – selective laser melting – selektywne spiekanie laserowe wykorzystywane do druku metali (np. CoCr, Ti), potocznie nazywane „spiekaniem” oraz SLA (ang. Stereolithography Apparatus) lub DLP (ang. Digital Light Processing), stosowana do wszystkich „miękkich” materiałów. Frezowanie jest metodą subtraktywną (ubytkową), gdzie obróbka materiału odbywa się poprzez skrawanie różnego rodzaju frezami w kilku osiach, najczęściej są to frezarki 5-osiowe, obrabiające materiał w 3-5 osiach odchylenia katowego. Dokładność obróbki tych urządzeń jest bardzo duża i wynosi 2-10 μm .¹⁸⁻²²

Schemat postępowania w protetycznym wykorzystaniu technik cyfrowych może być przeprowadzony:

w sposób bezpośredni:

- rejestracja sytuacji wewnątrzustnej – wycisk cyfrowy – lekarz – skaner wewnątrzustny,
- urządzenie CAD – laboratorium/lekarz – model cyfrowy i projekt,
- urządzenie CAM – laboratorium/lekarz – frezowanie/drukowanie,
- gotowa praca.

w sposób pośredni:

- wycisk tradycyjny (analogowy),
- urządzenie CAD – projekt,
- urządzenie CAM – wytwarzanie,

- gotowa proteza – osadzenie w ustach pacjenta.

metodą hybrydową:

- wycisk cyfrowy,
- wycisk tradycyjny i jego skan,
- obraz pola protetycznego.

Materiałami używanymi w protetyce cyfrowej mogą być: tytan, stop chromowo-kobaltowy, dwutlenek cyrkonu, tlenek glinu, dwukrzemian litu, żywice akrylanowe lub woski.

Skanowany obraz pola protetycznego może zostać zapisany w postaci plików STL, PLY lub OBJ.

Plik STL stereolitografia:

- standardowy plik w metodach szybkiego prototypowania w dowolnym oprogramowaniu CAD,
- triangulacyjny (trójkątny) sposób przedstawienia geometrii obrazu w przestrzeni trójwymiarowej,
- brak koloru.

Plik PLY format pliku wielokątnego:

- dodatkowe atrybuty – kolor, tekstura – lepsza wizualizacja –DSD,
- duży rozmiar pliku, rzadziej obsługiwane przez CAD i drukarki.

Plik OBJ format pliku obiektowego:

- geometria, kolor, tekstura – wysoki realizm wizualny,
- wykorzystywany w zaawansowanych symulacjach stomatologicznych (ryc. 2, 3).

Na rynku pojawia się coraz więcej nowych, innowacyjnych technologii w postaci dokładniejszych i bardziej kompaktowych urządzeń z wysoko specjalistycznym oprogramowaniem.^{5,23-28} Skanery te, sprzężone z urządzeniami w laboratorium, umożliwiają cyfrową rekonstrukcję uzębienia pacjenta już na wczesnym etapie leczenia, podczas pierwszej wizyty w gabinecie. Cyfrowe technologie zapewniają efektywne planowanie przebiegu leczenia protetycznego. Wygenerowane dane mogą posłużyć do wizualizacji końcowych efektów estetycznych oraz wytworzenia pracy protetycznej w całkowicie cyfrowym procesie.²⁹⁻³¹

Dzięki specjalistycznym programom, do projektowania uśmiechu, lekarz stomatolog może wspólnie z pacjentem zaplanować pracę protetyczną z użyciem koncepcji cyfrowego projektowania uśmiechu, która wymaga wykonania kompletu zdjęć zewnątrz- i wewnątrzustnych. Oprogramowanie umożliwia przeprowadzenie analizy uzyskanych zdjęć na ekranie komputera, wyznaczając między innymi linie referencyjne w obrębie twarzy. Pozwala to w krótkim czasie wytworzyć cyfrowy prototyp, który posłuży do zaprezentowania pacjentowi końcowego rezultatu leczenia, a nawet uzyskać jego wydruk na drukarce 3D. Niewątpliwie dużą zaletą jest także komfort pacjenta, wyeliminowanie odruchu wymiotnego, który może pojawić się przy pobieraniu tradycyjnego wycisku masami wyciskowymi. Zaletą wycisków cyfrowych, w porównaniu z konwencjonalnymi wyciskami, jest także możliwość ponownego skanowania pominiętych obszarów i wstępnej wizualizacji obszarów, co umożliwia sprzężenie zwrotne w czasie rzeczywistym. W przypadku konwencjonalnych wycisków błąd jest często wykrywalny dopiero po całkowitym związaniu materiału wyciskowego lub odlaniu modelu gipsowego. Podczas gdy ponowne skanowanie w celu „naprawienia” pewnego aspektu skanu, który jest nieodpowiedni, może być korzystne. Ważna jest możliwość uniknięcia

konieczności wykonywania tego dodatkowego kroku, co dzięki optymalnej strategii skanowania może skrócić całkowity czas wykonania procedury.³²⁻³⁵ Ma również miejsce prostsza komunikacja lekarz-technik, krótszy proces leczenia, dzięki natychmiastowemu przekazaniu niezbędnych materiałów i informacji do laboratorium, poprzez dokładny obraz odwzorowanego pola protetycznego, możliwość wizualizacji, weryfikacji i korekty pola protetycznego – here and now, przewidywalność – Digital Smile Design, powtarzalność, wysoka szczelność brzeżna ok 40 µm, większa wytrzymałość na naprężenia, oszczędność materiałów, wspomaganie systemem CAD-CAM, łatwa archiwizacja przy użyciu pliku STL, sterylne warunki pracy dzięki wykorzystaniu jednorazowych końcówek.

Technologie cyfrowe, obecne od wielu lat w stomatologii i protetyce, ciągle rozwijane i udoskonalane, umożliwiają w dużym stopniu integrację technologiczną i stworzenie kompleksowego, cyfrowego procesu leczenia. Jednak pewne elementy laboratoryjnego wykonania pozostają ciągle domeną technik tradycyjnych, wykonywanych przez technika dentystrycznego.^{5,21,36} Wady i ograniczenia stosowania technik cyfrowych wynikają także z braku suchości pola zabiegowego, z powodu obecności krwi i śliny, trudności skanowania preparacji poddziąsłowej oraz niedokładności powstających przy odwzorowywaniu pola protetycznego rozległych stałych prac protetycznych. W nieodległej perspektywie czasowej pojawiają się nowe urządzenia, które umożliwią wytwarzanie nawet rozległych struktur na implantach, na podstawie cyfrowego skanu.^{1,2,13,23}

W protetyce cyfrowej stosowane są różnorodne materiały. Najbardziej rozwinięte, pod względem naturalnego odwzorowania zębów są materiały ceramiczne, przystosowane do obróbki w frezarkach. Jednak niemal wszystkie cechuje niska, w porównaniu do tradycyjnie wypalanej ceramiki, estetyka. Coraz

powszechniej dostępne są jednak materiały z gradacją koloru i przezierności, stworzone z kilku warstw w celu imitacji naturalnego wyglądu. Jednak jak do tej pory nie udało się stworzyć bloczków ceramicznych, które zapewniałyby możliwość uzyskania wysoce estetycznych i spersonalizowanych zębów przy pomocy technologii frezowania. Największe nadzieje wiązane są z technologią addytywnego wytwarzania zębów. Oprócz braku możliwości indywidualnej charakterystyki licówek, koron, wkładów koronowych, które to czynności muszą być wykonane metodami tradycyjnymi, przez technika dentystycznego, ograniczenia technologiczne dotyczą także wykonywania protez ruchomych. Problemy te widoczne są w przypadku protez całkowitych, gdzie nie ma obecnie zadawalających technologii do precyzyjnego obrazowania tkanek miękkich w stanie dynamicznym. Brak jest także możliwości wytworzenia techniką cyfrową części akrylowych protez szkieletowych i typu overdentures czy redukcji podcieni struktur protez szkieletowych. W leczeniu implantoprotetycznym technologia cyfrowa nie pozwala na sprawdzanie na modelach kontrolnych – np. kompresji tkanek miękkich w pracach na implantach.^{7,13,14,23}

Potrzebny jest odpowiedni czas i nabycie odpowiedniej wprawy do wdrożenia techniki cyfrowej w praktyce. Jednym z głównych problemów jest tzw. „krzywa uczenia się” związana z technologiami cyfrowymi. Przyjęcie nowego oprogramowania, sprzętu i przepływu pracy wymaga szkoleń i biegłości, w celu osiągnięcia optymalnych rezultatów. Nieodpowiednie szkolenie, lub brak wiedzy specjalistycznej może prowadzić do błędów i małej dokładności, co może przyczynić się do kontrowersji wokół stomatologii cyfrowej. Także brak ujednoliconych standardów niewątpliwie jest czynnikiem utrudniającym szybkie i pełne wdrożenie systemów cyfrowych. Istotnym czynnikiem ograniczającym są wysokie koszty niezbędnych urządzeń oraz oprogramowania. Poziom

doświadczenia operatora odgrywa także ważną rolę w technice cyfrowej. Mniej doświadczeni operatorzy potrzebują znacznie dłuższego czasu na wykonanie określonej procedury w porównaniu z operatorami o średnim i wysokim doświadczeniu. Jednak różnica w czasie mieści się w granicach 70 s, a zatem prawdopodobnie nie jest klinicznie istotna.³⁷⁻³⁹

Na podstawie dostępnych publikacji i opisanych w nich badań stwierdzono, że techniki cyfrowe nie wpływają znacząco na dokładność wytwarzania np. implantu, uzupełnienia stałego czy protezy ruchomej w porównaniu z konwencjonalnymi technikami w warunkach *in vitro*. Jednak ogólne dowody są ograniczone przez niewielką liczbę badań i zaobserwowaną heterogeniczność. Potrzebne są przyszłe, dobrze zaprojektowane badania, w tym randomizowane badania kontrolowane i badania kliniczne, aby dostarczyć bardziej solidnych dowodów na skuteczność stomatologii cyfrowej w praktyce klinicznej.^{18,35,40,41}

Innym aspektem nowych technologii jest wykorzystanie sztucznej inteligencji w medycynie, w tym także w stomatologii. Imponujące możliwości, jakie daje ChatGPT i szybki postęp generatywnej sztucznej inteligencji sprawiają, że sztuczna inteligencja (AI) będzie dominującym trendem technologicznym. W stomatologii może ona znaleźć zastosowanie w diagnostyce, planowaniu, jak i samym leczeniu (np. wspierana przez AI diagnostyka zdjęć rentgenowskich).⁴²⁻⁴⁵ Przykładowo, w 2023 roku przedstawiono jak daleko rozwinęła się generatywna sztuczna inteligencja dzięki rozwojowi 3Shape Automate. Pobrano ponad dwa miliony projektów koron z 92-procentowym wskaźnikiem akceptacji projektów z bezobsługowej usługi opartej na sztucznej inteligencji.⁴⁶⁻⁵⁰ W 2023 roku nastąpił także przełom w zakresie materiałów służących do druku trójwymiarowych uzupełnień protetycznych. Obserwuje się ciągły postęp w zakresie drukowania koron tymczasowych oraz koron długoczasowych. Każdego

miesiąca na rynku pojawiają się nowe i ulepszone żywice, które mogą być wykorzystywane w protetyce cyfrowej.⁵⁰⁻⁵¹

Jednym z najważniejszych trendów związanych z nowymi technologiami jest przenoszenie danych i oprogramowania do chmury, aby umożliwić dostęp do nich z dowolnego miejsca na dowolnym urządzeniu. W przyszłości wiele prostych zadań stomatologicznych będzie można zarządzać przy użyciu smartfonów, dzięki czemu lekarze dentyści będą mogli te zadania wykonywać z dowolnego miejsca.^{52,53} Wiodące firmy z sektora nowych technologii inwestują w platformy do zarządzania cyfrową stomatologią, dzięki czemu będą zyskiwały znaczną przewagę nad mniej zaawansowanymi rozwiązaniami.

Podsumowanie

Technologia CAD/CAM (skanowanie, projektowanie i frezowanie), wspomaga wytwarzanie prac protetycznych, nie jest jednak obecnie w stanie zastąpić wielu procesów związanych z leczeniem protetycznym. Powodem jest najczęściej zbyt mała liczba informacji uwzględnianych na poszczególnych etapach, a także ograniczenia technologiczne. Całkowicie przeniesienie procedury leczenia protetycznego do świata cyfrowego, wymaga integracji wielu nowych technologii. Pewne jest jednak, że stały postęp technologiczny i informatyczny, dotyczący szczególnie oprogramowania, przyczyni się do wprowadzenia technik cyfrowych na szeroką skalę i, że będą one stanowić podstawę protetyki stomatologicznej.

Piśmiennictwo

1. *Revilla-León M, Att W, Özcan M, Rubenstein J*: Comparison of Conventional, Photogrammetry, and Intraoral Scanning Accuracy of Complete-Arch Implant Impression Procedures Evaluated with a Coordinate Measuring Machine. *J Prosthet Dent* 2021; 125: 470-478.
2. *Chochlidakis KM, Papaspyridakos P, Geminiani A, Chen CJ, Feng JJ, Ercoli C*: Digital versus Conventional Impressions for Fixed Prosthodontics: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Prosthet Dent* 2016; 116: 184-190.
3. *Tabesh M, Nejatidanesh F, Savabi G, Davoudi A, Savabi O, Mirmohammadi H*: Marginal Adaptation of Zirconia Complete-Coverage Fixed Dental Restorations Made from Digital Scans or Conventional Impressions: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Prosthet Dent* 202; 125: 603-610.
4. *Alsharbaty MHM, Alikhasi M, Zarrati S, Shamshiri AR*: A Clinical Comparative Study of 3-Dimensional Accuracy between Digital and Conventional Implant Impression Techniques. *J Prosthodont* 2019; 28: 902-908.
5. *Sierpińska T*: Stomatologia cyfrowa. Quintessence Publishing Polska. 2020; 3-105.
6. *Rech-Ortega C, Fernández-Estevan L, Solá-Ruiz MF, Agustín-Panadero R, Labaig-Rueda C*: Comparative in vitro study of the accuracy of impression techniques for dental implants: Direct technique with an elastomeric impression material versus intraoral scanner. *Med Oral Patol Oral Y Cir Bucal* 2019; 24: 89-95.
7. *Alikhasi M, Siadat H, Nasirpour A, Hasanazade M*: Three-Dimensional Accuracy of Digital Impression versus Conventional Method: Effect of Implant Angulation and Connection Type. *Int J Dent* 2018; 3: 750-760.
8. *Ma B, Yue X, Sun Y, Peng L, Geng W*: Accuracy of photogrammetry, intraoral scanning, and conventional impression techniques for complete-arch implant rehabilitation: an in vitro comparative study. *BMC Oral Health* 2021; 10, 21(1): 636.
9. *Siqueira R, Galli M, Chen Z, Mendonça G, Meirelles L, Wang HL, Chan HL*: Intraoral scanning reduces procedure time and improves patient comfort in fixed prosthodontics

- and implant dentistry: A systematic review. *Clin Oral Investig* 2021; 25: 6517-6531.
10. Schlenz MA, Schlenz MB, Wöstmann B, Jungert A, Ganss C: Intraoral scanner-based monitoring of tooth wear in young adults: 12-month results. *Clin Oral Investig* 2022; 26: 1869-1878.
 11. García VD, Freire Y, Fernández SD, Murillo BT, Sánchez MG: Application of the Intraoral Scanner in the Diagnosis of Dental Wear: An In Vivo Study of Tooth Wear Analysis. *Int J Environ Res Public Health* 2022; 19(8): 4481.
 12. Rech-Ortega C, Fernández-Estevan L, Solá-Ruiz MF, Agustín-Panadero R, Labaig-Rueda C: Comparative in vitro study of the accuracy of impression techniques for dental implants: Direct technique with an elastomeric impression material versus intraoral scanner. *Med Oral Patol Oral Y Cir Bucal* 2019; 24: 89-95.
 13. Cappare P, Sannino G, Minoli M, Montemezzi P, Ferrini F: Conventional versus Digital Impressions for Full Arch Screw-Retained Maxillary Rehabilitations: A Randomized Clinical Trial. *Int J Environ Res Public Health* 2019; 16: 829.
 14. Huang R, Liu Y, Huang B, Zhang C, Chen Z, Li Z: Improved Scanning Accuracy with Newly Designed Scan Bodies: An in Vitro Study Comparing Digital versus Conventional Impression Techniques for Complete-Arch Implant Rehabilitation. *Clin Oral Implant Res* 2020; 31: 625-633.
 15. Elashry WY, Elsheikh MM, Elsheikh AM: Evaluation of the accuracy of conventional and digital implant impression techniques in bilateral distal extension cases: a randomized clinical trial. *BMC Oral Health* 2024; 5, 24(1): 764.
 16. Bandiaky ON, Le Bars P, Gaudin A, Hardouin JB, Cheraud-Carpentier M, Mbodj EB, Soueidan AJ: Comparative assessment of complete-coverage, fixed tooth-supported prostheses fabricated from digital scans or conventional impressions: A systematic review and meta-analysis. *Prosthet Dent* 2022; 127(1): 71-79.
 17. Sailer I, Mühlemann S, Fehmer V, Hämmerle CHF, Benic GI: Randomized controlled clinical trial of digital and conventional workflows for the fabrication of zirconia-ceramic fixed partial dentures. Part I: Time efficiency of complete-arch digital scans versus conventional impressions. *J Prosthet Dent* 2019; 121(1): 69-75.
 18. Dohiem MM, Abdelaziz MS, Abdalla MF, Fawzy AM: Digital assessment of the accuracy of implant impression techniques in free end saddle partially edentulous patients. A controlled clinical trial. *BMC Oral Health* 2022; 12, 22(1): 486.
 19. Travassos da Rosa Moreira Bastos R, Teixeira da Silva P, Normando D: Reliability of qualitative occlusal tooth wear evaluation using an intraoral scanner: A pilot study. *PLoS ONE* 2021; 25: e0249119.
 20. Freire Y, Gonzalo E, Lopez-Suarez C, Pelaez J, Suarez MJ: Evaluation of the marginal fit of monolithic crowns fabricated by direct and indirect digitization. *J Prosthodont Res* 2021; 65: 291-297.
 21. Kazibudzka Z, Wiecek A: Diagnostic approaches to tooth wear in the era of new technologies: a narrative review. *Prosthodontics* 2024; 74(4): 322-338.
 22. Juszczyszyn K, Rolski D, Mierzwińska-Nastalska E: Wykorzystanie technologii-CAD/CAM w rehabilitacji protetycznej pacjentów leczonych z powodu nowotworów środkowego piętra twarzy. *Protet Stomatol* 2019; 69(3): 313-321.
 23. Moura RV, Kojima AN, Saraceni C.C, Bassolli L, Balducci I, Özcan M, Mesquita AMM: Evaluation of the Accuracy of Conventional and Digital Impression Techniques for Implant Restorations. *J Prosthodont* 2019; 28: 530-535.
 24. Marques VR, Çakmak G, Yilmaz H, Abou-Ayash S, Donmez MB, Yilmaz B: Effect of

- Scanned Area and Operator on the Accuracy of Dentate Arch Scans with a Single Implant. *J Clin Med* 2022; 15, 11(14): 4125.
25. *Corsalini M, Barile G, Ranieri F, Morea E, Corsalini T, Capodiferro S, Palumbo RR*: Comparison between Conventional and Digital Workflow in Implant Prosthetic Rehabilitation: A Randomized Controlled Trial. *J Funct Biomater* 2024; 31, 15(6): 149.
26. *Ferrari Cagidiaco E, Zarone F, Discepoli N, Joda T, Ferrari M*: Analysis of the reproducibility of subgingival vertical margins using intraoral optical scanning (IOS): a randomized controlled pilot trial. *J Clin Med* 2021; 10(5): 941
27. *Mert D, Kamnoedboon P, Husain NAH, Ozcan M, Srinivasan M*: CAD-CAM complete denture resins: Effect of relining on the shear bond strength. *J Dent* 2023; 131: 1-8.
28. *Huang R, Liu Y, Huang B, Zhang C, Chen Z, Li Z*: Improved Scanning Accuracy with Newly Designed Scan Bodies: An in Vitro Study Comparing Digital versus Conventional Impression Techniques for Complete-Arch Implant Rehabilitation. *Clin Oral Implant Res* 2020; 31, 625-633.
29. *Revilla-León, M, Att W, Özcan M, Rubenstein J*: Comparison of Conventional, Photogrammetry, and Intraoral Scanning Accuracy of Complete-Arch Implant Impression Procedures Evaluated with a Coordinate Measuring Machine. *J Prosthet Dent*. 2021; 125, 470-478.
30. *Suresh N, Janakiram Ch, Nayar S, Krishnapriya VN, Mathew A*: Effectiveness of digital data acquisition technologies in the fabrication of maxillofacial prostheses – A systematic review. *J Oral Biol Craniofac Res* 2022; 12(1): 208-215.
31. *Roehl JC, Jakstat HA, Becker K, Wetselaar P, Ahlers MO*: Tooth Wear Evaluation System (TWES) 2.0-Reliability of diagnosis with and without computer-assisted evaluation. *J Oral Rehabil* 2022; 49(1): 81-91.
32. *Muhlemann S, Benic GI, Fehmer V, Hammerle CHF, Sailer I*: Randomized controlled clinical trial of digital and conventional workflows for the fabrication of zirconia-ceramic posterior fixed partial dentures. Part II: time efficiency of CAD-CAM versus conventional laboratory procedures. *J Prosthet Dent* 2019; 121: 252-257.
33. *Gkantidis N, Dritsas K, Katsaros C, Halazonetis D, Ren Y*: 3D Method for Occlusal Tooth Wear Assessment in Presence of Substantial Changes on Other Tooth Surfaces. *J Clin Med* 2020; 9: 3937.
34. *Mehta SB, Loomans BAC, Bronkhorst EM, Banerji S, Bartlett DW*: The impact of e-training on tooth wear assessments using the BEWE. *J Dent* 2020; 100: 103427.
35. *Bronkhorst H, Bronkhorst EM, Kalaykova SI, van der Meer WJ, Huysmans MC, Loomans BA*: Serie: Innovatieve technieken en ontwikkelingen in de mondzorg. Meten van gebits-slijtage met reguliere 3D-scanners: toekomstmuziek, of al mogelijk? [Measuring tooth wear with regular intra-oral 3D scanners: for still in the future, or is it already possible?]. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 2022; 129(10): 443-448.
36. *Turkyilmaz I, Wilkins GN, Varvara G*: Tooth preparation, digital design and milling process considerations for CAD/CAM crowns: Understanding the transition from analog to digital workflow. *J Dent Sci* 2021; 16: 1312-1314.
37. *Schlenz M., Schlenz MB, Wöstmann B, Glatt AS, Ganss C*: Intraoral scanner-based monitoring of tooth wear in young adults: 24-month results. *Clin Oral Investig* 2023; 27(6): 2775-2785.
38. *Mehta SB, Bronkhorst EM, Crins L, Huysmans MD, Wetselaar P, Loomans BA*: A comparative evaluation between the reliability of gypsum casts and digital greyscale intra-oral scans for the scoring of tooth wear using the Tooth Wear Evaluation System (TWES). *J*

- Oral Rehabil 2021; 48(6): 678-686.
39. *Cybulska A, Szerszeń M*: Wykorzystanie technologii cyfrowych w rehabilitacji protetycznej pacjentów po chirurgicznym leczeniu nowotworów głowy i szyi. *Protet Stomatol* 2023; 73(1): 57-64.
40. *Cardoso-Silva L, Vicioni-Marques F, de Paula-Silva FWG, de Freitas BN, Nelson-Filho P, Tirapelli C, de Carvalho FK*: Comparison between intraoral scanning and direct visual analysis for the assessment of developmental defects of enamel. *J Dent* 2023; 137; 104677. doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104677
41. *Angelone F, Ponsiglione AM, Ricciardi C, Cesarelli G, Sansone M, Amato F*: Diagnostic applications of intraoral scanners: a systematic review. *J Imaging* 2023; 9; 134. doi.org/10.3390/jimaging9070134
42. *Schulz-Weidner N, Gruber M, Schraml EM, Wöstmann B, Krämer N, Schlenz MA*: Improving the communication of dental findings in pediatric dentistry by using intraoral scans as a visual aid: a randomized clinical trial. *Dent J (Basel)* 2024; 12; 15. doi.org/10.3390/dj12010015.
43. *Joda T, Balmer M, Jung RE, Ioannidis A*: Clinical use of digital applications for diagnostic and treatment planning in prosthodontics: a scoping review. *Clin Oral Implants Res* 2024; 35: 782-792.
44. *Chisnoiu AM, Staicu AC, Kui A, Chisnoiu RM, Iacob S, Flueraşu M, Buduru S*: Smile Design and Treatment Planning-Conventional versus Digital-A Pilot Study. *J Pers Med* 2023; 13: 1028.
45. *Borges MSN, de Carvalho GG, de Souza GA, Pintado Palomino K, de Freitas BN, Tirapelli C*: Does intraoral scanning influence the patient's view of dental restorations? A comparative study. *Digital Dentistry Journal*. doi.org/10.1016/j.ddj.2025.100004
46. *Masson E, Kumar A, Grigoriadis A, Destruhaut F, Nabet C, Galibourg A*: Conventional vs. digital wax-up: a crossover study on accuracy and undergraduate student satisfaction. *Digital Dentistry Journal*. doi.org/10.1016/j.ddj.2025.100003
47. *Negm EE, Patel M, Ryan P*: Does the Removal of the Support Structure Affect the Palatal Accuracy of Partial Denture Frameworks Produced by Three Vat Polymerization Printing Technologies? *Digital Dentistry Journal*. doi.org/10.1016/j.ddj.2025.100001.
48. *Muehleemann E, Özcan M*: Accuracy of removable partial denture frameworks fabricated using conventional and digital technologies. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2022; 30: 76-86.
49. *Grymak A, Badarneh A, Ma S, Choi JJE*: Effect of various printing parameters on the accuracy (trueness and precision) of 3D-printed partial denture framework. *J Mech Behav Biomed Mater* 2023; 140: 105688.
50. *Hussein MO, Hussein LA*: Trueness of 3D printed partial denture frameworks: build orientations and support structure density parameters. *J Adv Prosthodont* 2022; 14: 150-161.
51. *Rokhshad R, Tehrani AM, Nahidi R, Zarbakhsh A*: Fit of removable partial denture frameworks fabricated from 3D printed patterns versus the conventional method: An in vitro comparison. *J Prosthet Dent* 2024; 131: 1144-1149.
52. *Limpiwatana S, Nagaviroj N*: Intaglio surface adaptation of removable partial denture framework fabricated by various data acquisition techniques and fabrication approaches. *Eur JDent* 2024; 18: 493-500.
53. *Hwang S, An S, Robles U, Rumpf RC*: Process parameter optimization for removable partial denture frameworks manufactured by selective laser melting. *J Prosthet Dent* 2023; 129: 191-198.
- Zaakceptowano do druku: 9.04.2025 r.
Adres autorów: 50-425 Wrocław, ul. Krakowska 26.
© Zarząd Główny PTS 2025.