Protet Stomatol, 2024; 74(1): 55-62
DOI: 10.5114/ps/186421

Wykonanie protez całkowitych z wykorzystaniem nowoczesnych technologii CAD/CAM. Część 2 – postępowanie laboratoryjne

Manufacturing of complete dentures using modern CAD/CAM technologies. Part 2 – laboratory procedures

Beata Dejak, Violetta Melon
Zakład Protetyki Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny w Łodzi
Department of Prosthodontics, Medical University of Lodz, Poland
Kierownik: prof. dr hab. n. med. *Beata Dejak*

HASŁA INDEKSOWE:
PMMA, protezy całkowite, systemy CAD/CAM

KEY WORDS:
PMMA, complete dentures, CAD/CAM systems

Streszczenie

Celem pracy jest przedstawienie laboratoryjnego wykonania protez całkowitych z zastosowaniem nowoczesnych technologii CAD/CAM. W pracy przedstawiono cyfrowe systemy służące do wykonywania protez całkowitych oparte na technologii CAD/CAM i frezowaniu CNC, na przykładzie AvaDent i Baltic Denture System. Opisano proces laboratoryjnego tworzenia protez 3D drukowanych na podstawie systemu Dentca. Przedstawiono materiały stosowane do wytwarzania tych uzupełnień oraz ich zalety i wady. Protezy wykonane w technologii CAD/CAM wymagają użycia drogiego sprzętu. Komputerowe systemy pozwalają na skrócenie czasu wykonania protez oraz upraszczają ich wykonanie techniczne. Umożliwiają odtworzenie uszkodzonych protez bez udziału pacjenta. Prace frezowane lepiej przylegają do podłoża i mają lepszą retencję niż konwencjonalne, natomiast drukowane są mniej dokładne. Materiały używane do wykonania protez frezowanych mają korzystniejsze właściwości fizyczne od akrylu polimeryzowanego na gorąco, ale zęby wykonane w tej technice są mniej estetyczne niż fabryczne, używane w technice tradycyjnej. Właściwości fizyczne żywic wykorzystywanych aktualnie do druku 3D nie sprawdzają się do

Summary

The aim of the study is to present the laboratory process of production of complete dentures using modern CAD/CAM technologies. The article presents digital systems for making complete dentures based on CAD/CAM technology and CNC milling, for example AvaDent and Baltic Denture System. The process of laboratory manufacture of 3D printed dentures based on the Dentca system has been described. The advantages and disadvantages of materials used to produce these restorations have also been presented. Prostheses made with CAD/CAM technology require the use of expensive equipment. Computer systems allow shortening the time needed to make dentures and simplify their technical implementation. They enable the restoration of damaged dentures without the patient's participation. Milled restorations better fit the prosthetic base and have higher retention than the conventional ones, while the printed ones are less accurate. The materials used to make milled dentures have better physical properties than hot polymerized acrylic, but teeth made with this technique are less aesthetic than the ready-made teeth used in the traditional technique. The physical properties of the resins currently used for

wykonania protez użytkowanych długoczasowo. Rozwój tej technologii jest dynamiczny, a dotychczas jest mało klinicznych, długotrwałych obserwacji tych uzupełnień.

3D printing are not suitable for making long-term prostheses. The development of this technology is dynamic, but so far there have been few clinical, long-term monitoring of these restorations.

Rozwój stomatologii cyfrowej zmienił nie tylko protokół postępowania klinicznego, ale przede wszystkim laboratoryjnego wykonania protez całkowitych (PC). W tradycyjnej metodzie wykonania protez całkowitych część laboratoryjna obejmuje 4 etapy. W pierwszym, na podstawie wycisków anatomicznych, technik odlewa modele orientacyjne, na których zostaną wykonane łyżki indywidualne. Następnie na podstawie wycisków czynnościowych wykonywane są modele robocze i wzorniki zwarciowe. Po rejestracji zwarcia na wzornikach u pacjenta, w pracowni technicznej ustawiane są sztuczne zęby. Po kontroli próbnych protez w jamie ustnej, technik puszkuje protezy i zamienia wosk na akryl w procesie termicznej polimeryzacji.

Protezy wykonywane są z polimetakrylanu metylu (PMMA), który charakteryzuje się niskim ciężarem właściwym (1,15g/cm^3), co powoduje, że protezy są lekkie. Jest elastyczny (moduł sprężystości 1,2-2,2 GPa). Jego wytrzymałość na rozciąganie wynosi ok 50 MPa, na ściskanie 130 MPa i na zginanie tylko 38 MPa. Jest dość miękkim materiałem (twardość 2-3 w skali Mohsa). Wykazuje dobrą odporność na słabe kwasy i zasady, nie rozpuszcza się w alkoholach. Ilość monomeru resztkowego w materiale wynosi 0,2-0,5%.[1] Zaletą akrylu w protezach jest mały ciężar, estetyka, odporność na czynniki chemiczne w jamie ustnej, a także łatwość obróbki i napraw. Do wad PMMA należy duży skurcz polimeryzacyjny, toksyczne działanie monomeru resztkowego na tkanki, podatność na kolonizację drobnoustrojów ze środowiska jamy ustnej, słabe właściwości mechaniczne i niska odporność na zużycie.

Od lat 40-tych XX wieku procedury postępowania laboratoryjnego w wytwarzaniu prac akrylowych prawie nie uległy zmianom.[2,3] Prawidłowy proces wykonania protezy powinien uwzględniać - zmieszanie właściwej ilości proszku akrylowego do płynu, umieszczenie PMMA w puszce w odpowiedniej fazie polimeryzacji, prawidłowe puszkowanie (metoda, siła dokręcenia prasy, właściwa izolacja materiałów), odpowiednia temperatura i czas trwania procesu polimeryzacji.[1] Każdy błąd przy wymienionych czynnościach może skutkować zmniejszeniem retencji PC i zmniejszoną wytrzymałością mechaniczną gotowej pracy.[4-7] Nawet idealnie przeprowadzone postępowanie laboratoryjne, nie usuwa całkowicie resztkowego monomeru MMA, który przyczynia się do powstania stomatopatii protetycznych u pacjentów.[8,9] Dlatego poszukiwane są nowe materiały i metody wykonania protez całkowitych.

Celem pracy jest przedstawienie materiałów i technicznego wykonania protez całkowitych z użyciem nowoczesnych technologii CAD/CAM na przykładzie trzech różnych systemów protetycznych AvaDent, Baltic Denture System oraz Dentca.

Technika CAD/CAM wykonania laboratoryjnego protez całkowitych

1. Do cyfrowych systemów wytwarzania protez należą:
   - Systemy CAD/CAM (do frezowania płyt protez całkowitych) np. AvaDent Digital Dentures Bonded (AvaDent, USA),
   - Ivoclar Digital Denture (Ivoclar /Wieland, Lichtenstain),
   - Vita Vionic (Vita Zahnfabrik, Niemcy),

– Denture Design (3 Shape, Dania),
– Zirkonzahn Denture System (Zirkonzahn, Włochy).

2. Systemy CAD/CAM (do frezowania płyty i zębów) np.
   – AvaDent Digital Dentures XCL1 i XCL-2 (AvaDent, USA),
   – Baltic Denture System (Merz Dental, Niemcy),
   – Ivoclar Vivadent Ivotion (Ivoclar / Wieland).
3. Drukowanie trójwymiarowe (3D DLP, SLA) np.
   – Dentca 3D Printed Denture (Dentca, USA),
   – NexDent (NextDent B.V. Soesterberg, The Netherlands),
   – Formlabs Inc. (Somerville, MA, USA).

Technik wprowadza skany podłoża protetycznego (ze skanera wewnątrzustnego lub laboratoryjnego z wycisku) i skany rejestratów zwarcia do programu CAD. W programie projektuje wirtualną protezę.[7,10] Gotowy projekt za pomocą oprogramowania CAM jest przesłany do wytworzenia metodą frezowania subtraktywnego w CNC albo poprzez 3D druk addytywny.[7]

System AvaDent Digital Dentures Bonded (AvaDent, USA)

Jednym z przykładów systemów wytwarzania protez opartym na technologii CAD/CAM i frezowaniu w CNC jest AvaDent. Od lekarza, pracownia uzyskuje wyciski czynnościowe pacjenta oraz Anatomical Measuring Device (AMD) z łukiem gotyckim i dobranym kształtem zębów na płytce przedsionkowej. Dodatkowo przesyłane są dane o kolorze zębów oraz kącie położenia płaszczyzny zgryzowej względem linii źrenicznej.

W laboratorium wyciski oraz rejestraty ADM są skanowane w skanerze laserowym np. inEos X5 (Dentsply Strona). Oba skany są ze sobą łączone w programie CAD AvaDent Digital Denture Design. Wartość kąta z linijki pomiarowej pozwala na ustawienie płaszczyzny zwarcia w wirtualnym artykulatorze. Na cyfrowym modelu wyznaczane są granice przyszłej protezy. Wielkość i kształt zębów dobierany jest na podstawie płytki przedsionkowej. Gotowe projekty obu łuków zębowych zostają pobrane z biblioteki i spozycjonowane przestrzennie w artykulatorze na podstawie skanu ADM. Górny i dolny łuk są dopasowane okluzyjnie do siebie. Technik projektuje tylko podstawę protezy. W każdej fazie można nałożyć skan AMD na projekt, aby kontrolować go z danymi od pacjenta.[11] Zapisany plik projektu protezy trafia do cyfrowo sterowanej obrabiarki CNC.[12] Proteza jest frezowana z presyntezowanego krążka (PMMA AvaDent Digital Dentures Bonded Teeth (AvaDent, USA) w obrabiarce 5-osiowej. Frezowanie presyntezowanych, miękkich materiałów (takich jak PMMA) odbywa się w zakresie obrotowym wrzecion 150-800W. Osobno frezowana jest różowa podstawa protezy z wypreparowanymi łożami dla zębów, a osobno zindywidualizowane zęby z białego krążka.[11] Łączniki, które podtrzymywały pracę w bloczku podczas frezowania zostają usunięte. Zęby łączy się szybkopolimerem (np Ivotion Bond) z wyfrezowanymi łożami w płycie. Protezę można zindywidualizować – podkreślić przestrzenie międzyzębowe, dystalno-mezjalne bruzdy oraz nadać fakturę powierzchni zębów. Pod koniec technik tradycyjnie poleruje protezę za pomocą tarcz, gumek, szczotek, baranków oraz pasty polerskiej.

System Baltic Denture System (Merz Dental, Germany)

W tym systemie, do pracowni technicznej zostają przesłane wyciski na BD Key i rejestrat BD Key Lock. Są one skanowane (D2000, 3Shape®, Denmark) w celu digitalizacji. Uzyskane w ten sposób wirtualne modele 3D zostają wczytane do programu BD Creator® gdzie wyznacza się granice uzupełnień oraz

punkty referencyjne - środek wyrostka, brodawka przysieczna, szew środkowo-podniebienny. Dane pozwalają na właściwe dobranie i ustawienie wirtualnie zębów. Do wysokości protezy zostaje dobrany rozmiar krążka multilayer (biało-czerwonego) PMMA (BD Load®).[13] Projekt protezy przekonwertowany za pomocą oprogramowania CAM (WorkNC®, Vero India Software Pvt Ltd) jest wycinany w 5-osiowej frezarce (imes-icore® 350i Gmbh, Germany). Już na etapie projektowania, program ustawia położenie przestrzenne protezy w bloczku, tak aby w miejscach białego akrylu występowały zęby, a różowego elementy odtwarzające tkanki miękkie. Praca zostaje następnie uwolniona z krążka i wypolerowana. W tym systemie połączenie zębów z płytą protezy jest trwałe, na zasadzie polimeryzacji dwubarwnego bloczka akrylowego wykonanego fabrycznie.[14]

Niewątpliwą zaletą stosowania technologii CAD/CAM jest możliwość skrócenia czasu wykonania protez. Producenci sugerują ograniczenie klinicznych wizyt pacjenta do dwóch lub trzech,[15] choć nie zawsze jest to możliwe. Pominięcie kontroli próbnej protezy w gabinecie może skutkować późniejszymi błędami. Protezy wykonane metodą CAD/CAM i frezowania mają dobrze odwzorowaną powierzchnie dośluzówkową dzięki ograniczeniu skurczu polimeryzacyjnego materiału, wyeliminowaniu zmienności wymiarów mas wyciskowych i gipsów. Sam proces frezowania gwarantuje dokładne odwzorowanie wklęsłego obszaru PC oraz obszaru nośnego podstawy protezy. Cyfrowe płyty protez wykazały podobną lub lepszą adaptację niż konwencjonalnie.[16] Prace wykazują lepszą retencję[17] i okluzję,[18] chociaż inne badania wskazują, że sposób wykonania PC nie wpływa na finalną satysfakcję pacjenta.[19] Kolejną zaletą jest łatwość powtórzenia pracy bez udziału pacjenta. Cyfrowy zapis danych pozwala na szybkie odtworzenie zagubionej lub uszkodzonej protezy. Zęby w powielanej protezie można ustawić identycznie jak w starej protezie lub dokonać poprawy. Jest to szczególnie ważne w przypadku pacjentów z utrudnionym dostępem do opieki stomatologa.[20] Duplikaty protez CAD/CAM są dokładniejsze niż wykonane techniką tradycyjną.[21] Brak konieczności przesyłania fizycznego wycisku do pracowni (w ściśle określonym czasie w celu uniknięcia odkształceń masy wyciskowe) powoduje, że lekarz może współpracować z bardziej wykwalifikowanymi technikami, bez ograniczeń związanych z lokalizacją praktyki dentystycznej.

Wykonanie protez CAD/CAM nie jest pozbawione wad. Wymaga użycia drogich i zaawansowanych technicznie urządzeń, takich jak skaner 3D i współpracującego z nim oprogramowania oraz frezarki CNC. Wyższe koszty eksploatacyjne frezarek i narzędzi oraz droższe materiały podstawowe powodują, że ceny pracy z pracowni technicznej z zastosowaniem techniki CAD/CAM są ok. 50% wyższe w porównaniu z techniką konwencjonalną.[7] Podczas frezowania protez z presyntezowanych bloczków pozostają duże straty materiału.[12] Wirtualne projektowanie protezy wymaga nowych kompetencji od technika. Niekiedy potrzebny jest aktywny udział lekarza w czasie projektowania cyfrowego – wyznaczenie granic protezy na skanach wewnątrzustnych oraz modyfikacja modeli cyfrowych, aby zaznaczyć obszary poszerzenia granic protezy.[22] Często powstają problemy w ustaleniu zwarcia centralnego oraz z odwzorowaniem obrzeży protezy i podparcia warg. Tradycyjne wyciski gwarantują lepsze ukształtowanie pobrzeża protez i uszczelnienia tylnej granicy niż skany wewnętrzustne.[23] Kolejnym ograniczeniem są monochromatyczne i nieestetyczne zęby. Firma AvaDent przezwyciężyła ten problem w protezie XCL-2, stosując unikalny system warstw, które imitują zębinę i szkliwo naturalnych zębów.[24] Problem stanowi również słabe umocowanie zębów do protezy w porównaniu z termiczną polimeryzacją.[25]

Materiały do metody substrakcyjnej

Do frezowania protez całkowitych wykorzystywany jest PMMA w formie prepolimeryzowanych krążków. Producenci oferują krążki o zróżnicowanej średnicy (98, 98,5, 105 mm) i grubościach (15, 20, 25 mm).[12] Wykonanie fabryczne krążków rozpoczyna zmieszanie proszku akrylowego z płynem. Uzyskane ciasto akrylowe jest przechowywane w temperaturze -18°C przez 24 godziny. Następnie trafia do form, w których zachodzi proces prasowania i polimeryzowania w stopniowo rosnącej temperaturze.[26] Proces powoduje tworzenie w materiale dłuższych łańcuchów polimerów PMMA[27] i wyższy stopień konwersji monomeru[28] (w porównaniu do akrylu wykonanego tradycyjną metodą).[3] Gotowy produkt charakteryzuje się większą gęstością oraz zmniejszoną porowatością materiału.[29] Materiały CAD/CAM wykazują lepsze właściwości mechaniczne niż akryle polimeryzowane na gorąco i drukowane w 3D. Prepolimeryzowany akryl ma wyższy moduł sprężystości oraz wytrzymałość na złamania.[30] Powyższe właściwości fizyczne pozwalają na wyprodukowanie cieńszej (2mm) płyty protezy, o jednolitej grubości. Materiał jest bardziej odporny na przebarwienia,[31,32] a gładsza powierzchnia protezy utrudnia adhezję i rozwój bakterii[33] oraz grzybów *Candida albicans*.[34] Redukcja ilości wolnego monomeru zmniejsza ryzyko występowania stomatopatii protetycznej.

System Dentca 3D Printed Denture (Dentca, USA)

Protezy całkowite można wykonać również metodą addytywną, czyli druku 3D. Jego przykładem jest system Dentca (Dentca, USA). Projektowanie protezy w tym systemie nie różni się od poprzednio opisanych w programach CAD. Do programu wprowadza się skany wycisków i rejestratów zwarcia, a dodatkowo zmierzoną długość wargi górnej. Na tej podstawie projektuje się wirtualną protezę. Plik w formacie STL zostaje przetworzony na zrozumiały dla maszyny kod (np G-code) przez program (tzw slicer). Proteza jest drukowana z żywicy DENTCA Denture Base II (Dentca, USA) przez drukarkę 3D Digital Light Processing (DLP) (np. NextDent 5100 lub Pro95, SprintRay, USA).[35] Technologia DLP wykorzystuje utwardzanie żywicy za pomocą światła UV emitowanego przez projektor zamontowany pod przezroczystym dnem pojemnika z żywicą. Każda warstwa projektu jest naświetlana jednoczasowo i ulega utwardzeniu w tym samym czasie. Następnie stolik unosi model do góry w celu wykonania kolejnego poziomu pracy. Po zakończeniu wydruku konieczne jest oczyszczenie gotowej pracy w rozpuszczalniku (alkoholu izopropylowym) i wykonanie dodatkowego naświetlania w celu eliminacji monomeru. [12] Płytę protezy i zęby drukuje się osobno, a następnie łączy ze sobą.

Zaletami DLP są wysoka wydajność urządzeń. Drukowanie jest szybszym procesem oraz zużywa mniej materiału w porównaniu do frezowania. W DLP powstaje mniej odpadów. Drukarki 3D są tańszym rozwiązaniem niż centra frezarskie, dlatego częściej znajdują się na wyposażeniu indywidualnej praktyki dentystycznej.[36]

Jednak polimeryzacja całej warstwy w jednym czasie nie sprawdza się podczas tworzenia elementów o wymiarach kilkunastu centymetrów, z powodu znacznego skurczu materiału. Niedokładności dotyczą szczególnie wklęsłej powierzchni protezy. Dlatego konieczne jest podścielanie protez i dodatkowe uszczelnienia tylnej granicy. Na dokładność druku bezpośrednio wpływa zastosowana orientacja druku. Najmniejsze błędy wymiarów płyty występują podczas ustawienia obiektu pod kątem 90° w drukarce. Materiał wydrukowany pionowo z obciążeniem prostopadłym do orientacji warstw wykazuje większą wytrzymałość na ściskanie niż materiał wydrukowany poziomo.[37] Płyty drukowane trójwymiarowo

charakteryzują się niższą wytrzymałością na zginanie i na ściskanie[38], mniejszą twardością i modułem sprężystości w porównaniu z polimeryzowanymi na gorąco oraz mają gorszą retencję. Mają również słabszą stabilność wymiarów z upływem czasu.[37] Dodatkowo powierzchnia płyt protez Dentca Denture Base II (AM-DB) okazała się bardziej chropowata w porównaniu z płytami wytwarzanymi w procesach formowania wtryskowego (Ivocap High Impact) lub frezowania (CNC) (Ivotion Base).[39] Drukowane płyty mają też większą przezierność niż wykonywane w innych technologiach.[40] Protezy drukowane długoterminowo wykazują niestabilność koloru, dlatego są mniej estetyczne. Obecnie zalecane jest stosowanie druku 3D do wykonania protez tymczasowych, natychmiastowych oraz łyżek indywidualnych.

Podsumowując nowoczesne technologie CAD/CAM w znaczący sposób ułatwiają wykonanie techniczne protez całkowitych. Cały proces przebiega szybciej w porównaniu do tradycyjnej metody. Dobrze rokuje technologia frezowania CNC, natomiast drukowane protezy mają jeszcze sporo mankamentów. Prefabrykowane materiały PMMA do frezowania mają lepsze właściwości fizyczne niż ręcznie mieszany akryl. Technologie cyfrowe wykonania protez całkowitych rozwijają się bardzo dynamicznie, ale wciąż jest mała liczba badań klinicznych oceniających tak wytworzone uzupełnienia po dłuższym czasie użytkowania.

Piśmiennictwo

1. *Dejak B:* Vademecum wykonywania protez stałych i ruchomych. Med Tour Press 2020; 143, 149-150, 193, 374-379.
2. *Zafar MS:* Prosthodontic applications of polymethyl methacrylate (PMMA): An Update. Polymers (Basel) 2020; 12(10): 2299. doi:10.3390/polym12102299
3. *Batisse C, Nicolas E:* Comparison of CAD/CAM and conventional denture base resins: A Systematic Review. Applied Sciences 2021; 11(13):5990. https://doi.org/10.3390/app11135990
4. *Dorner S, Zeman F, Koller M, Lang R, Handel G, Behr M:* Clinical performance of complete dentures: a retrospective study. Int J Prosthodont 2010; 23(5): 410-417.
5. *Bilhan H, Erdogan O, Ergin S, Celik M, Ates G, Geckili O:* Complication rates and patient satisfaction with removable dentures. J Adv Prosthodont 2012; 4(2): 109-115. doi:10.4047/jap.2012.4.2.109
6. *Dusmukhamedov S, Lee C-N, Jeong S-M, Choi B-H:* Digital denture fabrication: A Technical Note. App Sci 2021; 11(17): 8093. https://doi.org/10.3390/app11178093
7. *Cywoniuk E, Sierpińska T, Sulewska M:* Wykonanie protez całkowitych w technologii CAD/CAM – przegląd piśmiennictwa. Protet Stomatol 2021; 71(4): 332-342. doi:10.5114/ps/144231.
8. *Jadhav SS, Mahajan N, Sethuraman R:* Comparative evaluation of the amount of the residual monomer in conventional and deep-frozen heat cure polymethylmethacrylate acrylic resin: An in vitro study. J Indian Prosthodont Soc 2018; 18(2): 147-153. doi:10.4103/jips.jips_206_17
9. *Leggat PA, Kedjarune U:* Toxicity of methyl methacrylate in dentistry. Int Dent J 2003; 53(3): 126-131. doi:10.1111/j.1875-595x.2003.tb00736.x
10. *Edelhoff D, Schubert O, Stimmelmayr M, Schweiger J:* CAD/CAM full-mouth rehabilitation of an elderly patient: One-piece digital complete denture meets multilayered zirconia with gradient technology. J Esthet Restor Dent 2023. doi:10.1111/jerd.13031
11. *Kattadiyil MT, Goodacre CJ, Baba NZ:* CAD/CAM complete dentures: a review of two commercial fabrication systems. J Calif Dent Assoc 2013; 41(6): 407-416.
12. *Sierpińska T:* Stomatologia cyfrowa.

Quintessence Publishing Polska 2021; 62-64, 74, 85, 90.
13. *John AV, Abraham G, Alias A:* Two-visit CAD/CAM milled dentures in the rehabilitation of edentulous arches: A case series. J Indian Prosthodont Soc 2019; 19(1): 88-92. doi:10.4103/jips.jips_252_18
14. *Andreescu CF, Ghergic DL, Botoacă, O, Hancu V, Bănăţeanu AM, Pătroi DN:* Evaluation of Different Materials Used for Fabrication of Complete Digital Denture. Materiale Plastice 2018; 55(1): 124-128. doi: 10.37358/MP.18.1.4977
15. *Goodacre BJ, Goodacre CJ, Baba NZ, Kattadiyil MT:* Comparison of denture base adaptation between CAD/CAM and conventional fabrication techniques. J Prosthet Dent 2016; 116(2): 249-256. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.02.017.
16. *Wang C, Shi YF, Xie PJ, Wu HU:* Accuracy of digital complete dentures: A systematic review of in vitro studies. J Prosth Dent 2021; 125(2): 249-256. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.01.004
17. *Abdullah M:* Evaluation of retention and patient satsifaction for maxillary complete denture constructed by 3D printing technique and conventional technique. Biomater J 2022; 1(5): 28-34. https://doi.org/10.5281/znodo.5829408
18. *Ragheb N, Ibrahim W:* Biting force and chewing efficiency of conventional and CAD/CAM complete dentures. A Cross-over Study. Egyptian Dent J 2021; 67(4): 3323-3335. doi: 10.21608/edj.2021.77671.1648
19. *Heikal MM, Nabi NA, Elkerdawy MW:* A study comparing patient satisfaction and retention of CAD/CAM milled complete dentures and 3D printed CAD/CAM complete dentures versus conventional complete dentures: a randomized clinical trial. Brazilian Dent Sci 2022; 25(1), e2785. https://doi.org/10.4322/bds.2022.e2785
20. *Srinivasan M, Kamnoedboon P, McKenna G:* CAD-CAM removable complete dentures: A systematic review and meta-analysis of trueness of fit, biocompatibility, mechanical properties, surface characteristics, color stability, time-cost analysis, clinical and patient-reported outcomes. J Dent 2021; 113: 103777. doi:10.1016/j.jdent.2021.103777
21. *Chen L, Li D, Zhou J, Lin WS, Tan J:* Duplicating complete dentures with conventional and digital methods: comparisons of trueness and efficiency. Dent J (Basel) 2022; 10(3): 35. doi:10.3390/dj10030035
22. *Chebib N, Imamura Y, El Osta N, Srinivasan M, Müller F, Maniewicz S:* Fit and retention of complete denture bases: Part II – conventional impressions versus digital scans: A clinical controlled crossover study. J Prosthet Dent 2022; S0022-3913(22); 00464-4. doi:10.1016/j.prosdent.2022.07.004
23. *Rasaie V, Abduo J, Hashemi S:* Accuracy of Intraoral Scanners for Recording the Denture Bearing Areas: A Systematic Review. J Prosthodont 2021; 30(6): 520-539. doi:10.1111/jopr.13345
24. *Anadioti E, Musharbash L, Blatz MB, Papavasiliou G, Kamposiora P:* 3D printed complete removable dental prostheses: a narrative review. BMC Oral Health 2020; 20(1): 343. doi: 10.1186/s12903-020-01328-8
25. *Choi JJE, Uy CE, Plaksina P, Ramani RS, Ganjigatti R, Waddell JN.* Bond strength of denture teeth to heat-cured, CAD/CAM and 3D printed denture acrylics. J Prosthodont 2019; 4: 5. doi: 10.1111/jopr.13125
26. *Wróblewska M, Łasica PA, Cylwik-Rokicka D, Sierpińska T, Stokowska E:* Use of acrylic resins in digital technology in the treatment of edentia – A review article. Part 1 – CAD/CAM. Prosthodont 2022; 72(3): 265-271. doi: https://doi.org/10.5114/ps/153578
27. *Murakami N, Wakabayashi N, Matsushima R, Kishida A, Igarashi Y:* Effect of high-pressure polymerization on mechanical properties of PMMA denture base resin. J Mech Behav Biomed Mater 2013; 20: 98-104. doi:

10.1016/j.jmbbm.2012.12.011
28. *Ayman AD:* The residual monomer content and mechanical properties of CAD\CAM resins used in the fabrication of complete dentures as compared to heat cured resins. Electron Physician 2017; 9(7): 4766-4772. doi: 10.19082/4766
29. *Saad, Y, Abdelhamid A, ElShabrawy S:* laboratory evaluation of pre-polymerized denture base material used for CAD/CAM complete denture manufacturing. Alexandria Dent J 43(3): 94-101. doi: 10.21608/adjalexu.2018.58006
30. *Ali IL, Yunus N, Abu-Hassan MI:* Hardness, flexural strength, and flexural modulus comparisons of three differently cured denture base systems. J Prosthodont 2008; 17(7): 545-549. doi: 10.1111/j.1532-849X.2008.00357.x
31. *Alp G, Johnston WM, Yilmaz B:* Optical properties and surface roughness of prepolymerized poly(methyl methacrylate) denture base materials. J Prosthet Dent 2019; 121(2): 347-352. doi: 10.1016/j.prosdent.2018.03.001
32. *Al-Qarni FD, Goodacre CJ, Kattadiyil MT, Baba NZ, Paravina RD:* Stainability of acrylic resin materials used in CAD-CAM and conventional complete dentures. J Prosthetic Dent 2020; 123(6): 880-887. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.07.004
33. *Alfouzan AF, Tuwaym M, Aldaghri EN:* Efficacy of Denture Cleansers on Microbial Adherence and Surface Topography of Conventional and CAD/CAM-Processed Denture Base Resins. Polymers (Basel) 2023; 15(2): 460. doi: 10.3390/polym15020460
34. *Al-Fouzan AF, Al-Mejrad LA, Albarrag AM:* Adherence of Candida to complete denture surfaces in vitro: A comparison of conventional and CAD/CAM complete dentures. J Adv Prosthodont 2017; 9(5): 402-408. doi: 10.4047/jap.2017.9.5.402
35. *Alhallak K, Hagi-Pavli E, Nankali A:* A review on clinical use of CAD/CAM and 3D printed dentures. Br Dent J 2023. doi:10.1038/s41415-022-5401-5
36. *Kalberer N, Mehl A, Schimmel M, Müller F, Srinivasan M:* CAD-CAM milled versus rapidly prototyped (3D-printed) complete dentures: An in vitro evaluation of trueness. J Prosthet Dent 2019; 121(4): 637-643. doi: 10.1016/j.prosdent.2018.09.001.
37. *Alharbi N, Osman R, Wismeijer D:* Effects of build direction on the mechanical properties of 3D-printed complete coverage interim dental restorations. J Prosthet Dent 2016; 115(6): 760-767. doi: 10.1016/j.prosdent.2015.12.002
38. *Prpić V, Schauperl Z, Ćatić A, Dulčić N, Čimić S:* Comparison of Mechanical Properties of 3D-Printed, CAD/CAM, and Conventional Denture Base Materials. J Prosthodont 2020; 29(6): 524-528. doi: 10.1111/jopr.13175
39. *Anderson LN, Alsahafi T, Clark WA, Felton D, Sulaiman TA:* Evaluation of surface roughness of differently manufactured denture base materials. J Prosthet Dent 2023; S0022-3913(23)00568-1. doi: 10.1016/j.prosdent.2023.08.028.
40. *Wang Y, Chu NM, Lin WS:* Translucency parameter and color masking ability of CAD-CAM denture base materials against metal substrates. J Prosthodont. 2023 Apr;32(S1):61-67. doi: 10.1111/jopr.13581.

Zaakceptowano do druku: 23.03.2024 r.
Adres Autorów: 92-213 Łódź, ul. Pomorska 251.
© Zarząd Główny PTS 2024.