

Możliwości i ograniczenia wykorzystania technologii cyfrowych w wykonawstwie protez twarzy

Possibilities and limitations of using digital technologies in the fabrication of facial prostheses

Anna Cybulska, Anastazja Horishna, Dariusz Rolski

Katedra Protetyki Stomatologicznej Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

Department of Prosthetic Dentistry, Medical University of Warsaw, Poland

Kierownik: prof. dr hab. n. med. Jolanta Kostrzewa-Janicka

HASŁA INDEKSOWE:

ubytki twarzy, protezy twarzy, cyfrowy protokół pracy, anaplastologia

KEY WORDS:

facial defects, facial prostheses, digital workflow, anaplastology

Streszczenie

Ubytki tkanek twarzy mogą wynikać z chirurgicznego leczenia nowotworów, wad wrodzonych, urazów lub infekcji. Ze względu na złożoną anatomię twarzowej części czaszki, leczenie defektów tkanek tego regionu jest skomplikowane i wymaga współpracy specjalistów z różnych dziedzin. Kluczowym zadaniem podczas rehabilitacji pacjentów tej grupy jest przywrócenie estetyki twarzy i jakości życia, które można uzyskać przez rekonstrukcję chirurgiczną, rehabilitację protezytyczną lub przez połączenie tych metod. Epitezy stanowią nieinwazyjną alternatywę dla zabiegów chirurgicznych i mają na celu odtworzenie brakujących tkanek. Konwencjonalne procedury wytwarzania protez twarzy obejmują kilka złożonych etapów klinicznych i laboratoryjnych, są niekomfortowe dla pacjenta, a sukces leczenia w dużej mierze zależy od umiejętności i doświadczenia zespołu lekarzy i techników. Rozwój metod rehabilitacji ubytków twarzy wiąże się z potrzebą obniżenia kosztów i skrócenia czasu wykonania, poprawy komfortu i zwiększenia dostępności dla pacjentów. Wspomagane komputerowo projektowanie i wykonawstwo otworzyły nowe możliwości rehabilitacji pacjentów z ubytkami tkanek twarzy. Rozwój technologii cyfrowych pozwala

Summary

Facial tissue defects can result from surgical treatment of tumours, congenital defects, trauma or infections. Due to the complex anatomy of the facial part of the skull, treating tissue defects in this region is complicated and requires the cooperation of specialists from various fields. The main objective in the rehabilitation of patients in this group is to restore facial aesthetics and the quality of life, which can be achieved through surgical reconstruction, prosthetic rehabilitation, or a combination of both. Epitheses constitute a non-invasive alternative to surgical procedures to restore missing tissue. Conventional procedures for manufacturing facial prostheses involve several complex clinical and laboratory stages, are uncomfortable for the patient and the success of treatment depends largely on the skills and experience of the team of doctors and technicians. Progress in the area of facial prosthetics requires a reduction of production costs, shorter production times, improved comfort and increased accessibility for patients. Computer-aided design and manufacturing have offered new possibilities for the rehabilitation of patients with facial tissue defects. The development of digital technologies enables the simplification of

na uproszczenie niektórych skomplikowanych procedur i wykonanie uzupełnień dostosowanych do indywidualnych potrzeb każdego pacjenta.

complicated procedures and the manufacturing of customized prostheses for each patient.

Wstęp

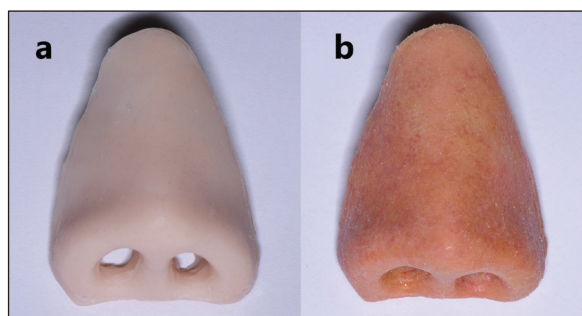
Rehabilitacja pacjentów z ubytkami tkanek twarzy w następstwie chirurgicznego leczenia nowotworów, urazów czy wad wrodzonych jest wymagająca ze względu na złożoną anatomię tego regionu i różnorodność budowy brakujących tkanek, takich jak skóra, kość i chrząstka.¹⁻³ Ubytki i deformacje twarzy prowadzą do problemów natury psychologicznej i obniżenia jakości życia pacjentów.^{1,2,4,5} Przywrócenie estetyki tego regionu można uzyskać przez rekonstrukcję chirurgiczną, wykorzystanie medycyny regeneracyjnej, rehabilitację protetyczną lub przez połączenie tych metod.^{1,2,6} Rekonstrukcja chirurgiczna jest uważana za optymalną metodę leczenia, jednak nie zawsze jest możliwa ze względu na przeciwwskazania ogólne i miejscowe, czy też brak zgody pacjenta, a efekt estetyczny jest trudny do przewidzenia i w dużej mierze zależy od doświadczenia chirurgów. Ponadto niejednokrotnie wymagane są kolejne interwencje chirurgiczne po rekonstrukcji, co wydłuża proces leczenia. Po zabiegu mogą występować powikłania, takie jak infekcja, utrata płata i nieestetyczne blizny.^{1-3,7,8} Rehabilitacja protetyczna w nieinwazyjny sposób odtwarza brakujące części twarzy, jak nos, ucho i oko oraz otaczające tkanki, poprawia estetykę i jakość życia pacjentów. Ponadto przynosi korzyści funkcjonalne, umożliwiając ogrzewanie napływającego powietrza, utrzymywanie wilgotności w ubytkach, chroniąc delikatne tkanki, modulując mowę i stanowiąc wsparcie dla okularów korekcyjnych.^{2,6,8}

Tradycyjne techniki wytwarzania protez twarzy są skomplikowane, czasochłonne i kosztowne. Składają się na nie pobranie wycisku podłoża, modelowanie woskowej protezy,

wykonanie barwionej wewnątrznie epitezy silikonowej oraz zewnętrzne indywidualne malowanie.⁸⁻¹⁰ Mogą one wiązać się z dyskomfortem pacjenta, zwłaszcza podczas pobierania wycisków twarzy, a końcowy efekt estetyczny w dużej mierze zależy od umiejętności lekarza i technika.^{1,6,9,11} Zwykle do wykonania protez twarzy stosuje się elastomer silikonowy wulkanizowany w temperaturze pokojowej (RTV) lub wysokiej temperaturze (HTV). Silikon jest umieszczany w formie uzyskanej z wzoru woskowego lub przy użyciu technologii druku 3D. Protezy twarzy są barwione wewnątrznie, poprzez dodanie barwnika do masy przed jej polimeryzacją i zewnętrznie, po wulkanizacji silikonu, przy użyciu specjalnych pigmentów w celu personalizacji protezy. Na rycinie 1 przedstawiono etapy pracy autorów przy wykonawstwie epitezy nosa.^{1,10} Twardość materiału silikonowego odtwarzającego skórę powinna optymalnie wynosić 25-35 w skali Shore'a A, a wytrzymałość na rozciąganie 6,9-13,8 MPa.^{10,12}

Rozwój technologii CAD/CAM skłania do badań nad wykorzystaniem obrazowania cyfrowego, projektowania wspomaganego komputerowo i bezpośrednich technik addytywnych podczas wykonania epitez. Do wyzwań technologii cyfrowej w protetyce twarzy należy skanowanie podłoża o złożonej anatomii z obecnymi ubytkami tkanek, materiały i technika druku umożliwiające odtworzenie mechanicznych i estetycznych właściwości ludzkiej tkanki, takiej jak skóra, chrząstka i kość (stosowanie materiałów o różnych stopniach twardości podczas wykonania jednej epitezy), technika barwienia oraz biokompatybilność materiałów.^{1,10}

Celem pracy jest przedstawienie możliwości i ograniczeń wykorzystania technologii



Ryc. 1. Silikonowa epiteza nosa: a – zabarwiona wewnętrznie, b – indywidualnie zewnętrznie pomalowana.

cyfrowych w wykonawstwie protez twarzy na podstawie piśmiennictwa oraz własnych doświadczeń autorów.

Stan wiedzy według literatury

Dynamicznie rozwijające się technologie cyfrowe stwarzają możliwości opracowania cyfrowych protokołów wykonawstwa protez twarzy, w celu skrócenia czasu wytwarzania epitez i obniżenia kosztów.^{1,6,10} Ma to kluczowe znaczenie dla poprawy jakości życia pacjentów z ubytkami tkanek twarzy.^{1,10} Mohammed i wsp.⁸ podali korzystając z danych z Royal Melbourne Hospital, że średni koszt wykonania protezy twarzy wynosi 6000 USD, nie wliczając kosztów implantacji chirurgicznej ani elementów retencyjnych. Czas wykonania protezy małżowiny usznej wynosi około 15 godzin dla protetyka z pięcioletnim lub dłuższym doświadczeniem. W swoim badaniu oszacowali również, że cyfrowe wytworzenie modelu epitezy, który jest następnie drukowany i zamieniany w konwencjonalny sposób na silikonową protezę skraca czas produkcji o około 5-6 godzin, redukuje liczbę wizyt pacjentów o 2-3 godz. i obniża koszty do 4000 USD. Według Nuseir i wsp.⁵ w pełni cyfrowe procedury podczas wykonania epitezy nosa wymagają 5 godzin pracy, w porównaniu do 8 godzin w przypadku metody konwencjonalnej. Dodatkowo w przypadku protez drukowanych bezpośrednio, jest potrzeba jednego etapu klinicznego

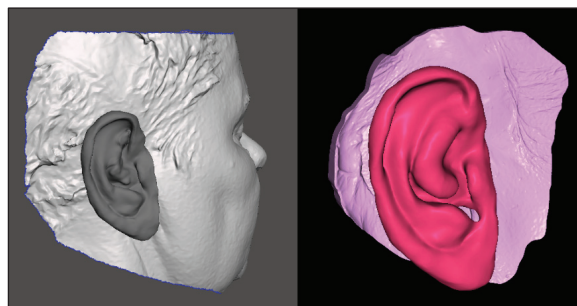
i jednego laboratoryjnego, podczas gdy konwencjonalne wykonawstwo wymaga dwóch etapów klinicznych i trzech laboratoryjnych. Unkovskiy i wsp.¹³ podali całkowity czas cyfrowego procesu wykonania epitezy nosa 2 godziny i 30-40 minut bez drukowania. Przy uwzględnieniu drukowania, koniecznych konwencjonalnych obróbek i czasu wysyłki, proces wydłużył się do 12 godzin i 30-40 minut, przy czym 10 godzin przeznaczono na samo drukowanie. Salazar-Gamarra i wsp.¹⁴ oszacowali, że koszt druku 3D epitezy waha się od około 50 do 150 USD, w zależności od objętości i ilości użytej żywicy.

Obraz podłoża protetycznego do protez twarzy można uzyskać techniką tradycyjnych wycisków, która jest trudna i wymagająca dla zespołu medycznego, a dla pacjenta niekomfortowa i bolesna.^{6,9,11,15} Ograniczeniem konwencjonalnych wycisków twarzy jest to, że rejestrują jedynie szczegóły defektu i otaczających tkanek, a nie całej twarzy.⁹ W przypadku defektu małżowiny usznej, potrzebny jest również wycisk zdrowego ucha, aby stworzyć jego odbicie lustrzane. Tradycyjne wyciski niosą ryzyko błędu w postaci zniekształcenia miękkich tkanek twarzy spowodowane uciskiem materiału wyciskowego. Może występować również trudność z uwolnieniem wycisku z podłoża ze względu na obecność zachyłków w ubytku.^{6,10,11,15,16} Dane konieczne do wykonania uzupełnień protetycznych można pozyskać wykorzystując badania obrazowe, takie jak rezonans magnetyczny i tomografia komputerowa, fotogrametria czy też skanowanie podłoża. Dane pozyskane z różnych źródeł można w programach komputerowych nakładać na siebie, uzyskując pełniejszy obraz podłoża protetycznego.^{2,4,17-20} Biorąc pod uwagę fakt, że silikon ulega degradacji w trakcie użytkowania i wymaga okresowej wymiany, zaletą skanowania podłoża jest możliwość odtworzenia uzupełnienia dzięki archiwizacji danych cyfrowych.¹⁵ Tekstura i kolor skóry muszą być

dokładnie odwzorowane, aby uzyskać epitezę charakteryzującą się wysoką estetyką. W konwencjonalnych i częściowo cyfrowych technikach silikon, który jest naturalnie przezroczysty wymaga barwienia wewnętrznego przed umieszczeniem w formie, aby uzyskać podstawowy odcień skóry. Po polimeryzacji silikonu jest on zewnętrznie malowany, odtwarzając detale skóry pacjenta.^{1,10} W celu uproszczenia procesu przeniesienia koloru i tekstury skóry danego pacjenta do laboratorium można wykorzystać urządzenia, takie jak spektrofotometr, np. e-Skin (Spectromatch Ltd., Bath, Wielka Brytania), który precyzyjnie ocenia kolor skóry pacjenta i dostarcza dane potrzebne do odtworzenia odcienia, upraszczając malowanie epitezy.^{5,21} Ograniczeniem wycisków cyfrowych jest brak możliwości odwzorowania głębokich ubytków tkanek.⁴

Obecnie programy stosowane w projektowaniu i wykonawstwie protez twarzy, takie jak Mimics, 3-Matic, CMF Pro Plan (Materialise, Leuven, Belgia), DentalCAD (exocad GmbH, Darmstadt, Niemcy), 3DDoctor (Able Software Corp, Lexington, Kentucky, USA) czy Geomagic (Hexagon AB, Sztokholm, Szwecja) są kosztowne i nie posiadają odpowiednich modułów przeznaczonych do planowania i projektowania epitez. To sprawia, że próby ich wykorzystania w tym celu wymagają znacznej kreatywności, przez co proces projektowania jest bardziej złożony, pracochłonny i wymaga szerokiej znajomości projektowania cyfrowego.^{1,6} Możliwości wykorzystania w protetyce twarzy programów open source, np. Meshmixer (Autodesk Inc., USA) czy FreeCAD (The FreeCAD Project Association, Bruksela, Belgia) są ograniczone, czasochłonne i niejednokrotnie, aby osiągnąć zamierzony cel wymagają korzystania z kilku z nich. Autorzy pracy podejmują próby cyfrowego projektowania epitez z wykorzystaniem dostępnych programów CAD (ryc. 2).

W wykonawstwie epitez wykorzystywane są technologie druku oparte na selektywnym



Ryc. 2. Projektowanie cyfrowe epitezy ucha.

osadzaniu materiału, jak technika Drop-on-Demand (ACEO Silicone General Purpose, Wacker Chemie AG, Monachium, Niemcy), natryskiwaniu żywicy (np. drukarka 3D PolyJet Stratasys J750, Stratasys, Minnetonka, USA) oraz na selektywnym wiązaniu lub polimeryzacji materiału w postaci cieczy lub proszku warstwa po warstwie (np. drukarka Lynxter S300X (Lynxter, Bayonne, Francja)).^{5,13-15,22,23}

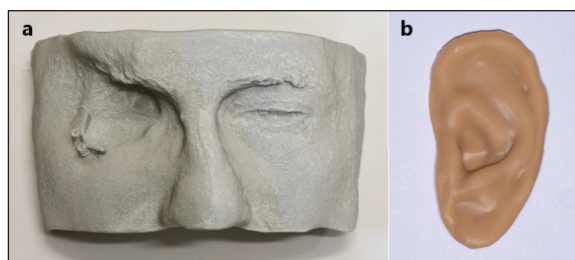
W piśmiennictwie przedstawione są pojedyncze przypadki cyfrowego protokołu pracy podczas wytwarzania epitez. *Penkner* i wsp.²⁴ opisali w 1999 roku technikę uzyskiwania indywidualnego, trójwymiarowego modelu ucha naturalnych wymiarów przy użyciu obrazu tomografii komputerowej pacjenta. *Costa-Palau* i wsp.¹⁵ oprócz epitezy policzka i wargi wykonanej metodą konwencjonalną, wydrukowali również drugą protezę bezpośrednio z silikonu 3D (ACEO Silicone General Purpose; Wacker Chemie AG) na podstawie skanów podłoża. Proteza wykonana metodą tradycyjną pozwalała, dzięki modyfikacji, na dokładniejsze dopasowanie do okolicznych tkanek, chociaż dopasowanie nie było optymalne w żadnej z wykonanych epitez. Kolor obu protez również nie odpowiadał dokładnie odcieniowi skóry. Pacjentka natomiast podawała zdecydowanie większy komfort podczas pobierania wycisków cyfrowych w porównaniu z tradycyjnymi. W tym przypadku epitezy utrzymywane były na podłożu z wykorzystaniem kleju do

skóry. *Unkovskiy* i wsp.²² przedstawili cyfrowy protokół pracy podczas wytwarzania protezy ucha, wykorzystując druk 3D (ACEO Silicone General Purpose; Wacker Chemie AG) z materiałów o różnej twardości w skali Shore'a w różnych obszarach epitezy. Wydrukowana proteza wymagała polerowania, uszczelnienia silikonem, ręcznego zewnętrznego malowania oraz połączenia z podbudową dla matryc elementów retencyjnych na implantach. Pomimo niewątpliwych zalet wykorzystania techniki Drop-on-Demand w cyfrowym wykonawstwie protez twarzy w 2021 roku usunięto usługę druku z wykorzystaniem materiału ACEO Silicone z oferty firmy (Wacker Chemie AG, Monachium, Niemcy).¹ *Salazar-Gamarra* i wsp.¹⁴ wykonali epitezę oka i okolicznych tkanek na podstawie obrazu podłoża uzyskanego przy użyciu smartfona, z wykorzystaniem oprogramowania typu open source, wykonując epitezę przez lustrzane odbicie. Informacje o ostatecznym rozmiarze, kształcie i kolorze modelu 3D zostały wyeksportowane do pliku VRML, który zawierał dane o kolorze, przezroczystości, jasności, teksturze i był zgodny z formatem CMYKW drukarki 3D Stratasys J750. Wykorzystanie drukarki typu 3D Polyjet pozwoliło na uzyskanie pełnokolorowej, wielomateriałowej protezy o twardości 80A Shore (na twardość wpływ miała ilość i barwa dodanych pigmentów). Proteza po wydrukowaniu wymagała jednak pewnych modyfikacji i nieznacznego zewnętrznego barwienia w celu uzyskania dobrego efektu estetycznego. Dodatkowo w celu uzyskania biokompatybilności epiteza została pokryta cienką warstwą silikonu medycznego. Retencję na podłożu uzyskano dzięki użyciu kleju do skóry. Opisane w piśmiennictwie epitezy drukowane bezpośrednio były klinicznie akceptowalne, jednak zwykle wymagały końcowego wykończenia techniką tradycyjną ze względu na obserwowany brak adaptacji brzeżnej. Dokładne dopasowanie protezy do podłoża jest trudne ze względu

na ruchy mimiczne twarzy.^{6,13,15,25} Problemem nadal jest grubość drukowanej warstwy i konieczność dopasowania koloru i tekstury do skóry pacjenta.^{13,15} Przyszłe drukarki powinny umożliwiać druk wielokolorowy o wyższej rozdzielczości, w celu eliminacji potrzeby ręcznego malowania wykonanej pracy.^{15,22,26}

W piśmiennictwie brakuje informacji dotyczących trwałości materiałów do cyfrowej produkcji miękkich protez twarzy i ich długotrwałych obserwacji klinicznych w dużej grupie pacjentów.^{1,6} Ponadto na rynku dostępna jest ograniczona liczba materiałów z certyfikatem biokompatybilności, co uniemożliwia ich bezpieczne stosowanie do długotrwałego, bezpośredniego kontaktu z tkanką ludzką.^{1,6,16,26} Kolejnym aspektem wykonawstwa protez twarzy jest możliwość zamontowania elementów retencyjnych do zaczepów na implantach. Matryce do zaczepów precyzyjnych zwykle wymagają użycia dodatkowo sztywnego materiału w epitezie do ich montażu. Pojawia się problem uzyskania trwałego połączenia między różnymi rodzajami tworzyw lub możliwości druku z wielu materiałów o różnych właściwościach mechanicznych.^{10,22}

W dostępnym piśmiennictwie obecnie technologie cyfrowe najczęściej wykorzystywane są w połączeniu z tradycyjnymi metodami wytwarzania protez twarzy i znajdują coraz szersze zastosowanie do wykonania modelu defektu tkanek, brakującej części anatomicznej lub formy. Doświadczenia własne autorów potwierdzają zalety wykorzystania technologii



Ryc. 3. Modele pomocnicze w wykonawstwie epitez przygotowane w technologii druku 3D: a – model twarzy z belką retencyjną, b – model epitezy ucha.

cyfrowych do projektowania i druku 3D modeli pomocniczych na różnych etapach tradycyjnego wykonawstwa protez twarzy (ryc. 3).^{6,9,10,21,25} Niezależnie od postępu w dziedzinie technologii cyfrowych, konieczne jest podjęcie istotnych kroków w kierunku uproszczenia metod gromadzenia danych, stworzenia programów lub modułów bardziej przystępnych cenowo i prostszych w użytkowaniu, poprawy aspektów estetycznych i dopasowania brzeżnego długoczasowej epitezy oraz opracowanie biokompatybilnych materiałów do bezpośredniego drukowania protez twarzy.^{6,14,26} Dodatkowo w piśmiennictwie podkreślana jest konieczność dalszych prac nad produkcją drukarek 3D umożliwiających druk w kolorze z wielu materiałów o różnej twardości.²² Doświadczenia autorów są zgodne z danymi z piśmiennictwa. Praca kliniczna i laboratoryjna przy wykonawstwie epitez wymaga poszukiwania cyfrowych rozwiązań pozwalających na uproszczenie procedur, obniżenie kosztów i zwiększenie dostępności do usług medycznych dla rosnącej liczby pacjentów z ubytkami tkanek twarzy.

Podsumowanie

Stały postęp w cyfrowych technologiach obrazowania, projektowania i drukowania 3D daje obiecujące perspektywy na ich wykorzystanie w wykonawstwie epitez. W piśmiennictwie brakuje jednak opisów całkowicie cyfrowych protokołów pracy ze względu na ograniczenia wynikające ze złożoności podłoża protezy u pacjentów z ubytkami tkanek twarzy, braku specjalistycznego oprogramowania, materiałów do druku o odpowiednich parametrach mechanicznych i biologicznych, technik ich barwienia i długoczasowej oceny klinicznej. Technologie cyfrowe wykorzystywane są najczęściej w połączeniu z tradycyjnymi technikami w celu uzyskania optymalnej estetyki i szczelności wykonanych protez twarzy. Rozwój technologii CAD/CAM i wynikające

z nich korzyści dyktują jednak konieczność opracowania całkowicie cyfrowych protokołów wykonywania tego typu prac protetycznych.

Piśmiennictwo

1. Tarba CI, Cristache MA, Baciú IM, Cristache CM, Vatamanu OEB, Oancea L: Advancements in Digital Workflows for 3D-Printed Maxillofacial Soft Prostheses: Exploring Design and Materials in Direct Additive Manufacturing: A Scoping Review. *Appl Sci* 2025; 15(4): 1701.
2. Nyberg EL, Farris AL, Hung BP, Dias M, Garcia JR, Dorafshar AH, Grayson WL: 3D-Printing Technologies for Craniofacial Rehabilitation, Reconstruction, and Regeneration. *Ann Biomed Eng* 2017; 45: 45-57.
3. Kim RS, Yi C, Kim HS, Jeong HY, Bae YC: Reconstruction of large facial defects using a combination of forehead flap and other procedures. *Arch Craniofac Surg* 2022; 23(1): 17-22.
4. Suresh N, Janakiram C, 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.
5. Nuseir A, Hatamleh MMD, Alnazzawi A, Al-Rabab'ah M, Kamel B, Jaradat E: Direct 3D Printing of Flexible Nasal Prosthesis: Optimized Digital Workflow from Scan to Fit. *J Prosthodont* 2019; 28: 10-14.
6. Cristache CM, Tudor I, Moraru L, Cristache G, Lanza A, Burlibasa M: Digital Workflow in Maxillofacial Prosthodontics – An Update on Defect Data Acquisition, Editing and Design Using Open-Source and Commercial Available Software. *Appl Sci* 2021; 11: 973.
7. Lee MH, Yi CC, Kim HS, Bae YC: Reconstruction of large facial defects using

- three or more local flaps. *Arch Craniofac Surg* 2025; 26(3): 109-114.
8. *Mohammed M I, Cadd B, Peart G, Gibson I*: Augmented patient-specific facial prosthesis production using medical imaging modelling and 3D printing technologies for improved patient outcomes. *Virtual Phys Prototyp* 2018; 13: 164-176.
 9. *Salazar-Gamarra R, Seelaus R, Da Silva JVL, Da Silva AM, Dib LL*: Monoscopic photogrammetry to obtain 3D models by a mobile device: A method for making facial prostheses. *J Otolaryngol Head Neck Surg* 2016; 45: 33.
 10. *Cruz RLJ, Ross MT, Powell SK, Woodruff MA*: Advancements in Soft-Tissue Prosthetics Part A: The Art of Imitating Life. *Front Bioeng Biotechnol* 2020; 31(8): 121.
 11. *Matsuoka A, Yoshioka F, Ozawa S, Takebe J*: Development of three-dimensional facial expression models using morphing methods for fabricating facial prostheses. *J Prosthodont Res* 2019; 63: 66-72.
 12. *Aziz T, Waters M, Jagger R*: Analysis of the properties of silicone rubber maxillofacial prosthetic materials. *J Dent* 2003; 31: 67-74.
 13. *Unkovskiy A, Spintzyk S, Brom J, Huettig F, Keutel C*: Direct 3D printing of silicone facial prostheses: A preliminary experience in digital workflow. *J Prosthet Dent* 2018; 120: 303-308.
 14. *Salazar-Gamarra R, Cárdenas-Bocanegra A, Masch U, Da Costa Moraes CA, Seelaus R, Lopes Da Silva JV, Lauria Dib L*: Color translation from monoscopic photogrammetry +ID Methodology into a Polyjet final 3D printed facial prosthesis. *F1000 Research* 2022; 11: 582.
 15. *Costa-Palau S, Clua-Palau A, Real-Voltas F, Brufau-de Barberà M, Cabratosa-Termes J*: A comparison of digital and conventional fabrication techniques for an esthetic maxillofacial prosthesis for the cheek and lip. *J Prosthet Dent* 2025; 133(1): 315-320.
 16. *Liravi F, Toyserkani E*: Additive Manufacturing of Silicone Structures: A Review and Prospective Addit Manuf 2018; 24: 232-242.
 17. *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.
 18. *Cybulska A, Mydlak A, Zwoliński J, Dominiak K, Szerszeń MP, Kostrzewa-Janicka J*: Natychmiastowa płytka obturacyjna w technologii druku 3D dla pacjenta z zaplanowaną resekcją zmiany nowotworowej – opis przypadku. *Protet Stomatol* 2023; 73(3): 193-201.
 19. *Cybulska A, Dominiak K, Mydlak A, Kostrzewa-Janicka J*: Natychmiastowa płytka obturacyjna i jej modyfikacja w technologii CAD/CAM dla pacjenta po resekcji tkanek podniebienia z powodu nowotworu – opis przypadku. *Prosthodontics* 2024; 74(2): 153-157.
 20. *de la Cerda Obraniak M, Cybulska A*: Możliwości wykorzystania wycisków cyfrowych przy wykonawstwie różnych rodzajów uzupełnień protetycznych. *Twój Przeg Stomatol* 2022; 8-9: 95-98.
 21. *Watson J, Hatamleh MM*: Complete integration of technology for improved reproduction of auricular prostheses. *J Prosthet Dent* 2014; 111: 430-436.
 22. *Unkovskiy A, Wahl E, Huettig F, Keutel C, Spintzyk S*: Multimaterial 3D printing of a definitive silicone auricular prosthesis: An improved technique. *J Prosthet Dent* 2021; 125: 946-950.
 23. *Hubacz JC, Gullard A, Sheridan RR, Versluis A*: Accuracy and resolution of conventional and additively manufactured silicone elastomers as applied in maxillofacial therapies. *J Prosthet Dent* 2024; 134(4): 1341-1348.
 24. *Penkner K, Santler G, Mayer W, Pierer G, Lorenzoni M*: Fabricating auricular prostheses

- using three-dimensional soft tissue models. *J Prosthet Dent* 1999; 82: 482-484.
25. *Farook TH, Jamayet NB, Abdullah JY, Rajion ZA, Alam MK*: A systematic review of the computerized tools and digital techniques applied to fabricate nasal, auricular, orbital and ocular prostheses for facial defect rehabilitation. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg* 2020; 121(3): 268-277.
26. *Frias V, Hsu L*: Three-dimensionally printed facial prosthesis with a silicone veneer technique: A clinical report. *J Prosthet Dent* 2023; 133: 301-304.

Zaakceptowano do druku: 19.03.2026 r.

Adres autorów: 02-097 Warszawa, ul. Binieckiego 6.

© Zarząd Główny PTS 2026.