

Wykorzystanie metod komputerowych w projektowaniu i wykonawstwie metalowych konstrukcji protez szkieletowych

The computer methods use in design and making of the metal framework of partial denture

Anna Kochanek-Leśniewska¹, Jacek Oksiński²

¹ Katedra Protetyki Stomatologicznej, Warszawski Uniwersytet Medyczny
Kierownik: prof. dr hab. n. med. *Elżbieta Mierzwińska-Nastalska*

² Laboratorium Protetyczne „TECHDENT”
Kierownik: tech. dent. *Jacek Oksiński*

HASŁA INDEKSOWE:

proteza szkieletowa, projekt CAD, druk 3D

KEY WORDS:

partial denture with framework, CAD project, 3D print

Streszczenie

Proteza szkieletowa jest uzupełnieniem ruchomym o konstrukcji metalowo-akrylowej, odbudowującym zniszczone lub brakujące zęby i tkanki podłoża protetycznego. Jej cechą charakterystyczną jest redukcja zasięgu pokrycia podłoża protetycznego, adekwatna do liczby i rozmieszczenia elementów podpierających.

Powszechnie, konstrukcja metalowa protezy szkieletowej wykonywana jest techniką odlewniczą, metodą traconego wosku.

Technologia CAD/CAM, druk 3D oraz metody hybrydowe stają się obecnie jednym z podstawowych narzędzi pracy w projektowaniu i wykonawstwie uzupełnień protetycznych. Podejmowane są próby stosowania tych nowoczesnych technologii również w wykonawstwie protez szkieletowych.

Celem pracy jest omówienie możliwości wykorzystania metod komputerowych w projektowaniu i wykonawstwie konstrukcji metalowych protez szkieletowych.

Summary

The partial denture with metal framework is a removable metal-acrylic construction, that rebuilds damaged or missing teeth and soft tissues. Its characteristic feature is the reduction of the covering surface of the mucosa adequate to the number and arrangement of supporting elements.

Commonly, the metal framework of removable denture is made using the casting technique and the lost wax method.

The CAD / CAM technology, 3D printing and hybrid methods are becoming one of the basic instruments in the design and produce of prosthetic restorations. The attempts are made to apply these modern technologies also in the manufacture of removable partial denture with framework.

The aim of this articles is to discuss the possibilities of using computer methods in the design and manufacturing metal framework of removable denture.

Wstęp

Proteza szkieletowa jest uzupełnieniem ruchomym o konstrukcji metalowo-akrylowej, odbudowującym zniszczone lub brakujące zęby i tkanki podłoża protetycznego. Jej cechą charakterystyczną jest redukcja zasięgu pokrycia podłoża protetycznego, adekwatna do liczby i rozmieszczenia elementów podpierających w konstrukcji, przenoszących obciążenia zwarciowe na kość przez ozębną zębów oporowych.¹⁻⁶

Wskazania do wykonania protez szkieletowych obejmują uzupełnienie braków międzyzębowych, skrzydłowych i mieszanych, w szczególności w przypadkach, gdzie ze względu na rozległość braków lub brak zgody pacjenta na szlifowanie twardych tkanek zębów nie jest możliwe wykonanie mostów. Ponadto także w przypadkach protetycznego leczenia zaburzeń zwarcia, rozszczepów podniebienia, w periodontopatiach w postaci szyn i szynoprotez oraz jako utrwalenie leczenia ortodontycznego.^{1,2,5} W rzadkich przypadkach bywa stosowana jako proteza natychmiastowa, wybór takiego postępowania wymaga jednak częstych wizyt kontrolnych i wczesnego, często kilkukrotnego podścielenia siodła protezy.⁷

Decyzja o wykonaniu protezy szkieletowej powinna być poprzedzona dokładnym badaniem klinicznym, oceną zdjęcia pantomograficznego i jeśli to konieczne celowanych zdjęć zębowych. Na tej podstawie można ocenić ewentualną konieczność przygotowania przedprotetycznego, które może obejmować leczenie zachowawcze, chirurgiczne, periodontologiczne, a czasem również ortodontyczne. Dodatkowo przeprowadzona wstępna analiza paralelometryczna modeli diagnostycznych pozwala określić potrzebę wstępnego przygotowania protetycznego, dotyczącego zębów oporowych, na których będą projektowane klamry, w zakresie wykonania wkładów koronowo-korzeniowych i koron, w określonych

przypadkach zębów leczonych endodontycznie, powierzchni retencyjnych oraz w zakresie przygotowania miejsca dla cierni - elementów podpierających konstrukcję protezy.^{1-3,8}

Etapy tradycyjnego wykonawstwa laboratoryjnego części metalowych protez szkieletowych obejmują kolejno: odlanie modelu gipsowego, analizę paralelometryczną, projektowanie protezy, przygotowanie modelu do powielenia, wykonanie negatywu i modelu wtórnego z masy ogniotrwalej, modelowanie szkieletu, najczęściej z wosku odlewniczego, wykonanie formy odlewniczej i odlewu oraz obróbka mechaniczna i elektrochemiczna metalowego odlewu.^{5,9-11} Tradycyjna analiza paralelometryczna, projektowanie i wszystkie czynności związane z tworzeniem przez technika woskowej konstrukcji metalowej części szkieletu stwarzają możliwość popełnienia błędów i pojawienia się niedokładności.

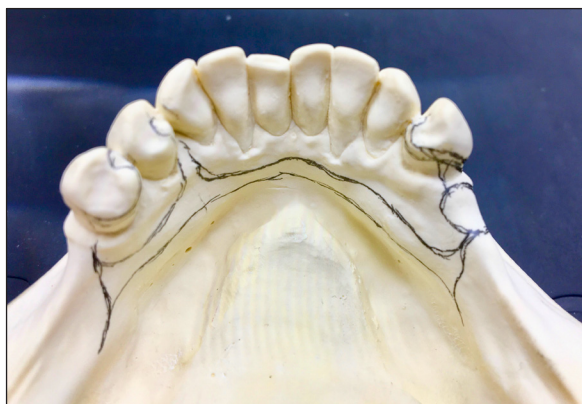
Większość etapów w wykonawstwie metalowych części protez szkieletowych musi wykonać samodzielnie technik, jednak w niektórych z nich można wykorzystać dostępne w protezycie rozwiązania technologiczne, aby skrócić i uprościć postępowanie oraz zmniejszyć ryzyko błędów. Technologia CAD/CAM, druk 3D oraz metody hybrydowe stają się obecnie jednym z podstawowych narzędzi pracy w projektowaniu i wykonawstwie uzupełnień protetycznych.

Cel pracy

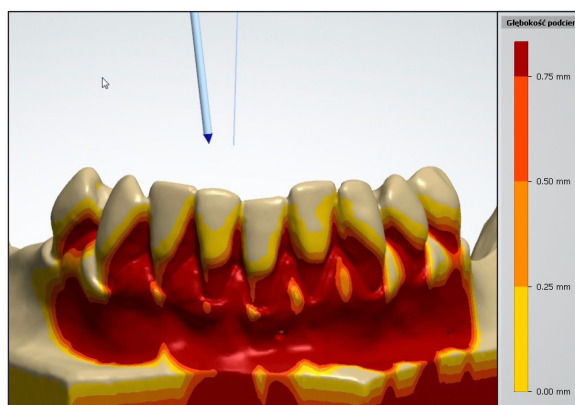
Omówienie wykorzystania metod komputerowych w projektowaniu i wykonawstwie konstrukcji metalowych protez szkieletowych.

Omówienie

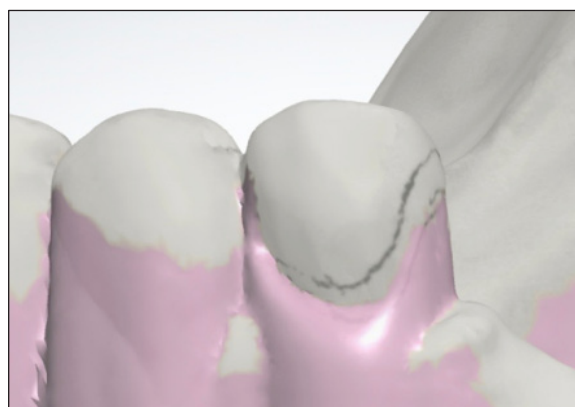
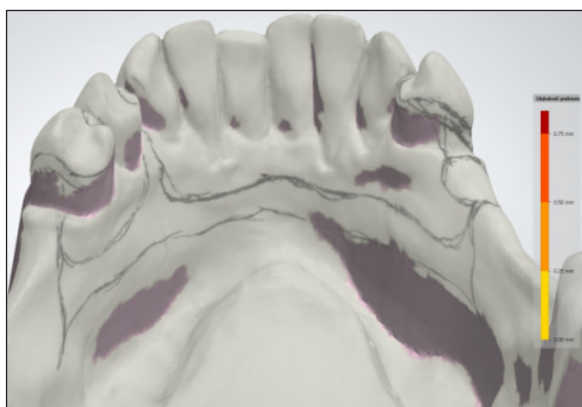
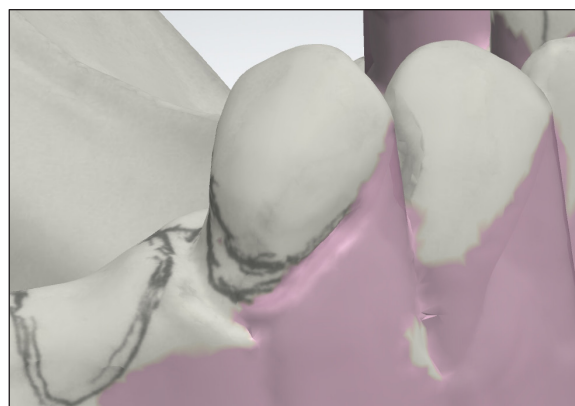
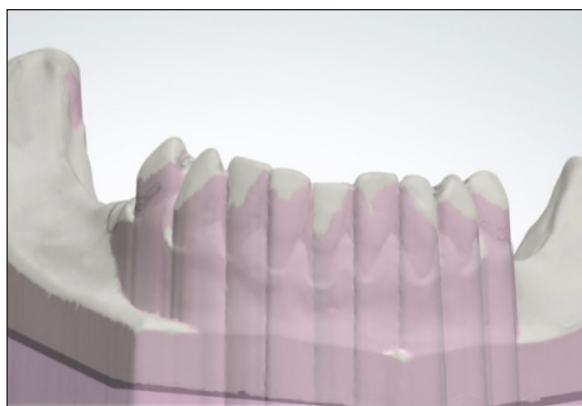
Metody projektowania komputerowego – CAD (ComputerAided Design) pozwalają na szybkie i dokładne tworzenie wirtualnego projektu przyszłej części metalowej protezy szkieletowej.^{12,13} Postępowanie rozpoczyna



Ryc. 1. Ręcznie wykonany projekt graficzny po analizie paralelometrycznej (fot. Techdent).



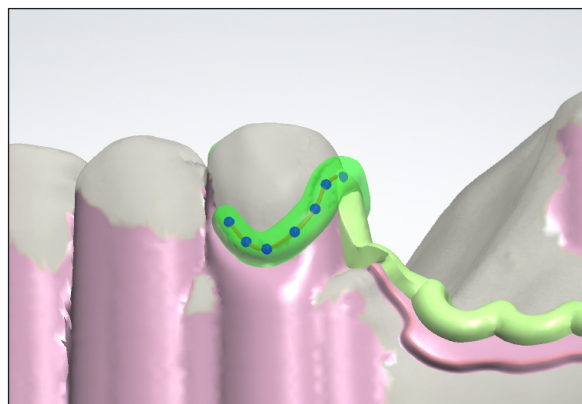
Ryc. 2. Komputerowa analiza paralelometryczna. Skala głębokości podcieni (fot. Techdent).



Ryc. 3. Blokowanie podcieni w projekcie komputerowym (fot. Techdent).

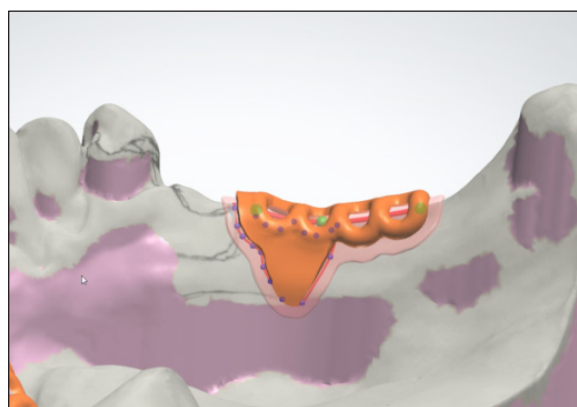
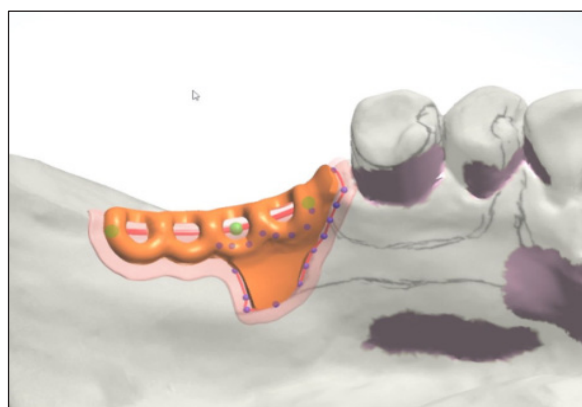
się od skanowania modelu, bez konieczności wcześniejszego blokowania podcieni, następnie przystępuje się do graficznego modelowania poszczególnych elementów protezy z wykorzystaniem opcji oprogramowania. Czasem projekt komputerowy można poprzedzić wstępną manualną analizą paralelometryczną

i wstępnym projektem, ale nie jest to bezwzględnie konieczne (ryc. 1). Pierwszy etap skupia się na właściwym ustawieniu modelu, wyznaczającym kierunek wprowadzania przyszłej protezy, według którego będzie możliwe oznaczenie podcieni. Przy ustalaniu odpowiedniej pozycji modelu pomocne jest wyświetlenie

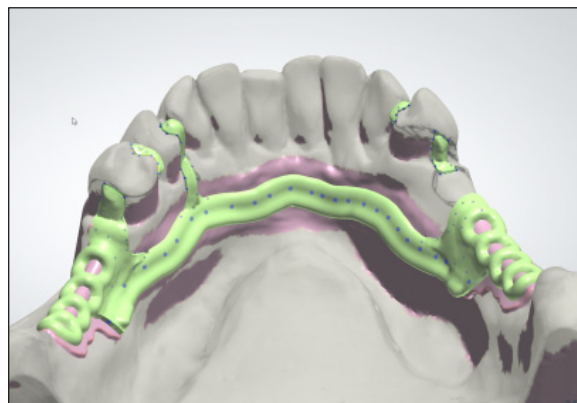
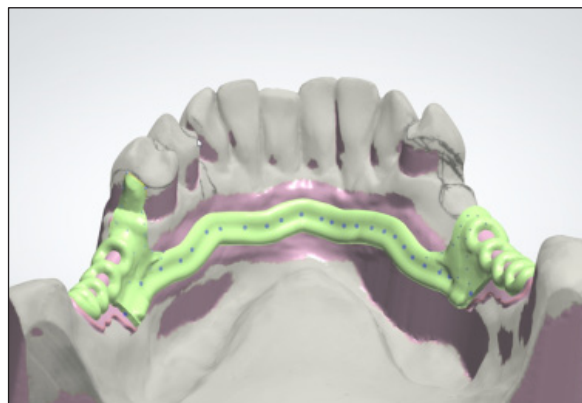


Ryc. 4. Projektowanie klamer (fot. Techdent).

wyciętym fragmencie obrazu, który potem zostanie połączony z całością modelu. Klamry można dowolnie projektować i modyfikować dopasowując ich położenie, kształt i wielkość (ryc. 4). Należy wybrać, zaznaczyć i zablokować obszar przyszłych siodeł, które będą podścielone tworzywem akrylowym, po czym scałić obraz, co odpowiada pokrywaniu tych obszarów woskiem kalibrowanym w postępowaniu tradycyjnym. Tak powstały model wirtualny przypomina model z masy osłaniają-



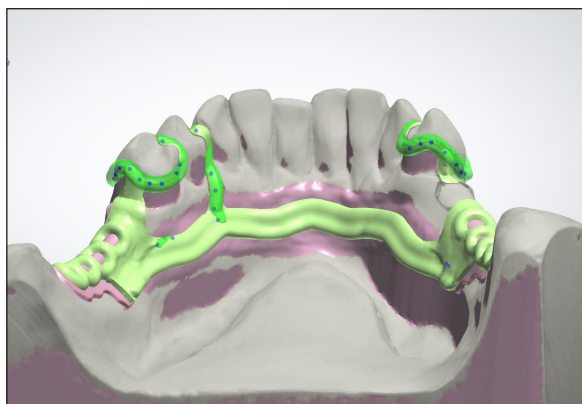
Ryc. 5. Projektowanie elementów siodeł protezy (fot. Techdent).



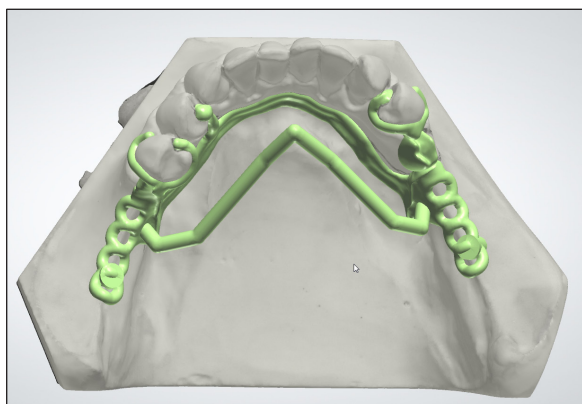
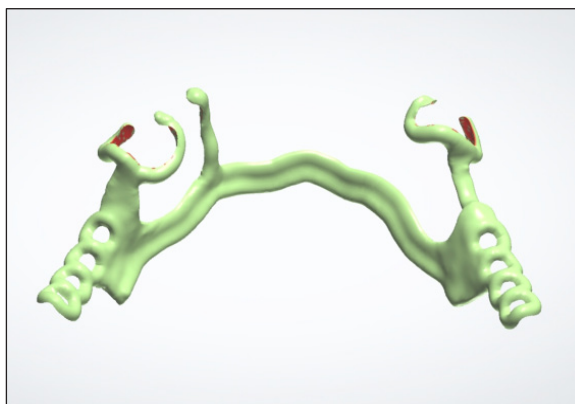
Ryc. 6. Komputerowe projektowanie łącznika dużego, podparć protezy oraz łączenie elementów (fot. Techdent).

płaszczyzny zwarcia. Podcienie zaznaczane są kolorami i najczęściej ich głębokość odczytuje się według skali kolorystycznej, której przypisane są odpowiednie wartości wyrażone w milimetrach (ryc. 2, 3). Następnie zaznacza się zęby oporowe, na których będą zaplanowane klamry. Projektowanie może odbywać się na

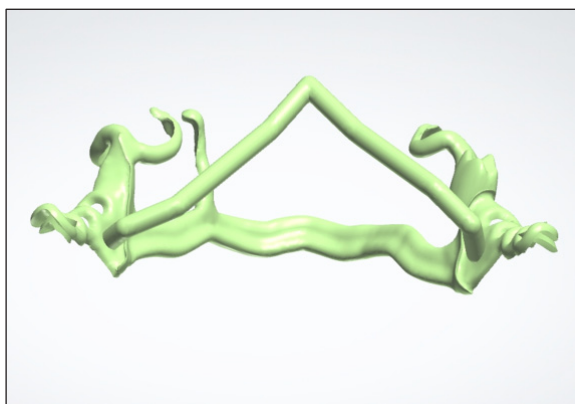
cej (ryc. 5). Kolejno projektuje się łącznik duży, który łączy się z wcześniejszym projektem klamer z wykorzystaniem przeznaczonych do tego celu instrumentów do modelowania (ryc. 6). W przypadku protez górnych fragment łącznika, który ma być fakturowany zaznacza się i nakłada warstwę fakturową. Należy



Ryc. 7. Połączenie wszystkich elementów projektu i gotowy projekt graficzny konstrukcji protezy szkieletowej (fot. Techdent).



Ryc. 8. Graficzny projekt kanałów odlewowych (fot. Techdent).



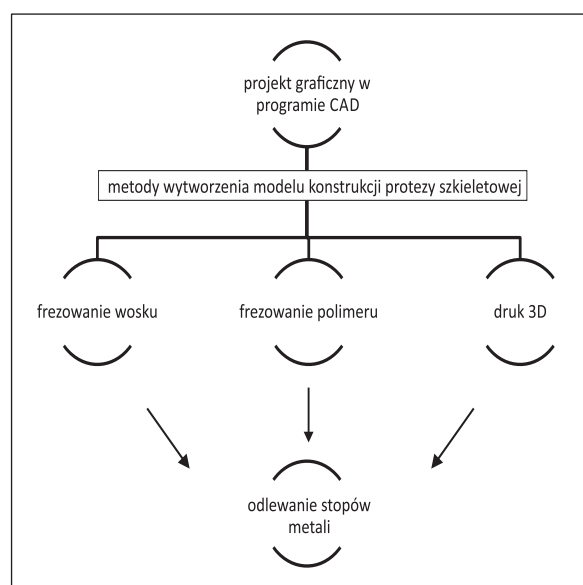
Ryc. 9. Gotowy, końcowy wirtualny projekt przyszłej części metalowej protezy szkieletowej, przeznaczony do druku 3D (fot. Techdent).

również zaznaczyć obszary siodła, w których będą utworzone elementy retencyjne dla tworzywa akrylowego, a ich kształt wybrać z dostępnej listy wzorów. Projekt konstrukcji metalowej protezy musi być jeszcze dopracowany, szczególnie w obszarach przejść i łączeń poszczególnych części, gdzie dochodzi zwykle do nałożenia większej ilości warstw, po czym może zostać „uwolniony” z wirtualnego modelu (ryc. 7). W przypadku kiedy wytworzony model komputerowy jest przeznaczony do tradycyjnego odlewania należy dołączyć do niego kanały odlewowe (ryc. 8).

Wirtualna konstrukcja zostaje zapisana jako plik 3D, który jest gotowy do dalszego wykorzystania (ryc. 9).

Ukończony projekt części metalowej protezy szkieletowej przeznaczony do wykonania techniką odlewniczą może zostać wyfrezowany z pomocą technologii CAM z wosku lub polimerów – materiałów spalających się bezresztkowo albo wydrukowany w drukarce 3D (ryc. 10).

Frezowanie wosku jak i mas polimerowych ma jednak pewne wady związane głównie z koniecznością uzyskania cienkich elementów konstrukcji na dużych powierzchniach bez podparcia. Dodatkowo niedostateczne chłodzenie lub zużyte frezy mogą sprzyjać pojawieniu się zwiększonej ilości ciepła w trakcie procesu, co może wpłynąć na odkształcenia frezowanych obiektów. Lepszym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie metod addycyjnych



Ryc. 10. Możliwości wykonawstwa metalowych konstrukcji protez szkieletowych na podstawie modelu wirtualnego w połączeniu z metodą odlewania stopów metali.

i wytworzenie pozytywu zaprojektowanej komputerowo konstrukcji z wykorzystaniem druku 3D (ryc. 11). Druk 3D w protetyce stomatologicznej dla fotopolimerów, określanymi jako materiały miękkie może być wykonany z zastosowaniem dwóch technologii: SLA (Stereolithography) oraz DLP (Digital Light Processing).^{8,14-16}

Niezależnie od metody realizacji projektu uzupełnienia (frezowanie lub druk 3D), wytworzony model musi zostać odlany ze stopu denystycznego. Odlewnictwo pozostaje nadal integralnym etapem w procesie wykonania protezy szkieletowej. Właściwy dobór stopów, zachowanie wyznaczonych standardów i przestrzeganie procedur w procesie odlewania daje możliwość osiągnięcia odlewów o pożądanych właściwościach fizycznych i mechanicznych konstrukcji metalowej protezy szkieletowej. Bardzo ważne jest uzyskanie sztywności konstrukcji, przy jednoczesnym zachowaniu pewnej elastyczności elementów retencyjnych, ulegających odkształceniom w momencie



Ryc. 11. Druk 3D protez szkieletowych według projektu komputerowego. Konstrukcje po uwolnieniu są gotowe do przygotowania do procesu odlewania (fot. Techdent).

wprowadzania i wyprowadzania protezy z podłoża protetycznego.

Niewątpliwą zaletą nowoczesnych technologii, dzięki możliwości tworzenia projektu wirtualnego jest znaczne skrócenie czasochłonnych etapów tradycyjnego postępowania laboratoryjnego jakim są blokowanie podcieni, graficzny projekt i modelowanie przyszłego szkieletu. Nie oznacza to jednak eliminacji czynnika pracy ludzkiej w tym procesie, bo osoba zajmująca się graficznym projektowaniem musi znać zasady konstrukcji protez szkieletowych oraz możliwości obsługiwanego programu projektowego. Możliwość sprawnego przeprowadzenia dokładnej, szybkiej analizy i łatwej korekty wirtualnego projektu zdecydowanie wpływa na ograniczenie czasu potrzebnego na wykonanie finalnego uzupełnienia.

Jednym z najkorzystniejszych algorytmów postępowania w wykonawstwie protez szkieletowych jest graficzne projektowanie komputerowe przyszłych metalowych konstrukcji protez, następnie wykonanie na ich podstawie modeli woskowych lub polimerowych z wykorzystaniem metod ferezowania lub częściej druku 3D, które w końcu zostają zamienione na



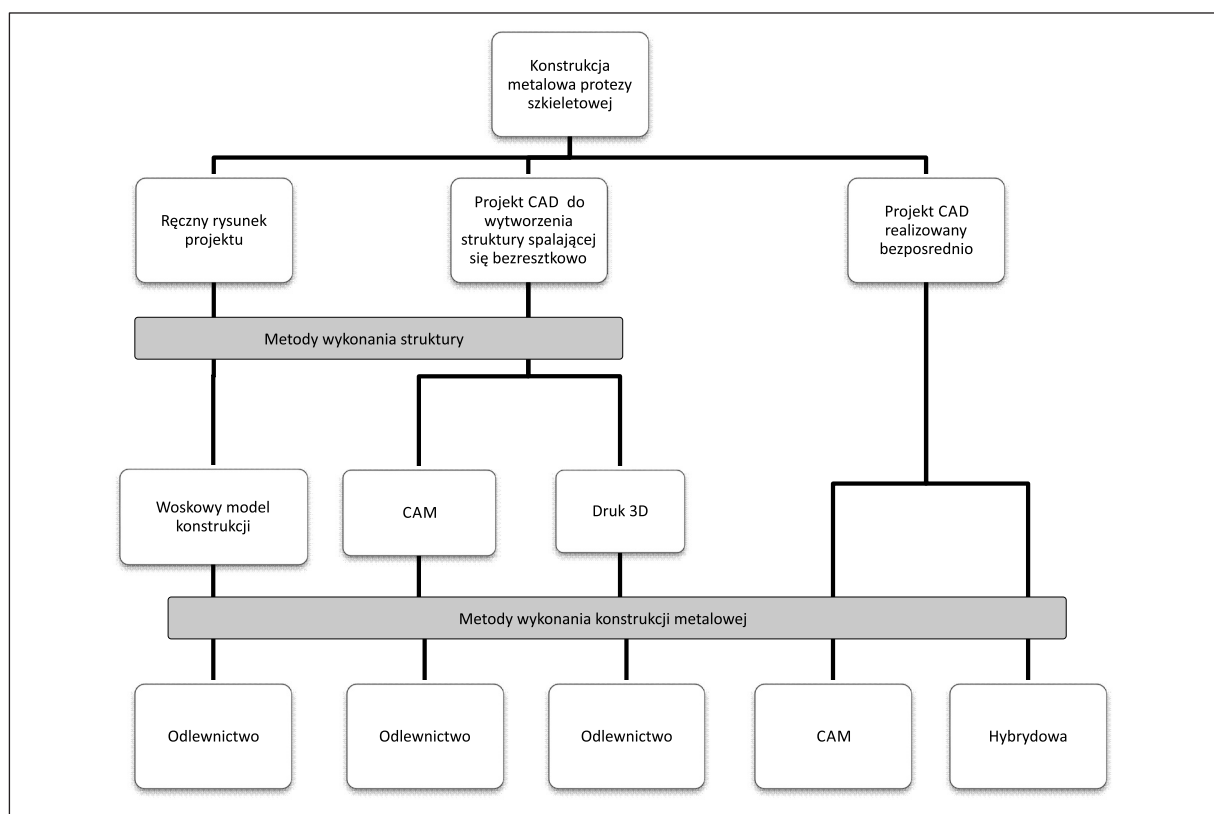
Ryc. 12. Gotowa proteza szkieletowa dolna, wykonana według graficznego projektu komputerowego, z częścią metalową konstrukcji odlaną na podstawie modelu 3D (fot. Techdent).

metal, z wykorzystaniem tradycyjnych metod odlewania (ryc. 12).

Istnieją również alternatywne do technologii odlewniczej możliwości wykonania części metalowej protezy szkieletowej po graficznym

zaprojektowaniu modelu w programie CAD. Wśród nich należy wymienić technologie: spiekania laserowego (SLM), frezowania i technologie hybrydowe (ryc. 13).^{12,13,15,17}

Spiekanie laserowe (SLM – Selective Laser Melting) jest metodą addycyjną, drukiem 3D metali, które mogą występować w postaci proszku. Polega na wytwarzaniu elementów poprzez zestalanie kolejnych warstw proszku z zastosowaniem wiązki lasera. Promień lasera początkowo jest skierowany w ściśle zdefiniowane punkty, na płytę bazową pokrytą warstwą proszku. Ziarna proszku łączą się ze sobą tworząc warstwę litego materiału. Kolejne, nakładane warstwy proszku, łączą się z pomocą energii wiązki laserowej z warstwą wcześniej już wytworzoną. Proces powtarza się, aż do wytworzenia całej struktury. Szkielet wykonany metodą spiekania laserowego należy opracować podobnie jak szkielet odlewany, z pomocą tradycyjnych frezów i wypolerować gumkami



Ryc. 13. Tradycyjne i alternatywne metody wykonywania metalowych konstrukcji protez szkieletowych.

oraz szczoteczkami do osiągnięcia połysku.¹³ Metoda ta jednak nie gwarantuje właściwej elastyczności określonych części otrzymanej konstrukcji, która jest cechą niezbędną w przypadku protez kłamrowych. Może być natomiast wykorzystywana w wykonawstwie protez hybrydowych (kombinowanych), których konstrukcje obejmują konieczność wykonania protez stałych oraz ruchomych i zastosowanie elementów precyzyjnych w postaci zespołów retencyjnych.^{8,15}

Technologia CAM także stwarza możliwość realizacji wirtualnego projektu graficznego części metalowej protezy szkieletowej przez frezowanie bezpośrednio po jej zaprojektowaniu, najczęściej ze stopów tytanu. Zalety tak wykonanego szkieletu to głównie niewielka waga uzupełnienia, odporność korozyjna oraz biokompatybilność, jednak sama metoda wykonania jest kosztowna, czasochłonna i nie gwarantuje dokładnego odwzorowania. W przypadku protez szkieletowych z wykorzystaniem klamer jako elementów retencyjnych sugeruje się osobne wykonanie klamer metodą odlewania, a następnie ich połączenie z wyfrezowaną płytą za pomocą lasera.¹⁸ Odlewanie tytanu i jego stopów jest jednak procesem skomplikowanym, wymaga odpowiedniej aparatury, mas osłaniających oraz wykonania procesu w osłonie argonu. Stąd technologia jest dostępna jedynie w nielicznych pracowniach protetycznych. Precyzja szkieletów tytanowych jest klinicznie akceptowalna. Mogą jednak pojawiać się niedokładności w odlewach, głównie w przypadku cienkich elementów i zbyt małej ilości stopu przeznaczonego do stopienia. Badania radiograficzne pokazują, że odlewy tytanowe są bardziej podatne na pojawienie się porowatości w strukturze odlewu w porównaniu ze stopami konwencjonalnymi. Warstwa reaktywna po uwolnieniu modelu może być usunięta z użyciem narzędzi obrotowych i abrazji, jednak nie można jej całkowicie w ten sposób usunąć z wewnętrznej powierzchni klamer, dlatego

wymaga obróbki chemicznej z użyciem kwasu fluorokrzemowego oraz piaskowania proszkiem AL_2O_3 .¹⁸

Technologie hybrydowe będą mogły w przyszłości znaleźć zastosowanie w wykonawstwie protez szkieletowych. Techniki te łączą w sobie metody druku 3D metali (DMLS – Direct Metal Laser Sintering) oraz frezowania z wykorzystaniem urządzeń frezujących CNC (Computer Numerical Control). W pierwszym etapie generowany jest w programie CAD właściwy plik geometrii przyszłego uzupełnienia, zintegrowany dla metody druku i frezowania. Następnie wykonywany jest półfabrykat struktury w technologii DMLS, który w dalszym etapie jest frezowany z użyciem maszyny CNC, aby ostatecznie po końcowym ręcznym opracowaniu stać się finalnym produktem podbudowy metalowej. Jako zalety tej metody wymienia się: redukcję jednostkowego czasu wytwarzania, zmniejszenie ilości zużywanego materiału oraz poprawę cech użytkowych produktów. Szacowana redukcja zużycia materiałów w metodzie hybrydowej może wynosić 50-60% w stosunku do metody frezowania i 60-80% w porównaniu z metodami odlewania, stosowanymi jako samodzielne metody wytwarzania. Metody hybrydowe najszerszej są jednak stosowane w wykonawstwie uzupełnień stałych oraz wspartych na implantach, w tym belek oraz odbudowy z przekierowaniem osi otworu śruby.¹⁷

Podsumowanie

Rozwój technologiczny, nowe materiały i metody wsparte o techniki informatyczne mają wpływ na zmiany w tradycyjnym podejściu do wykonywania protez szkieletowych. Nowoczesne programy do projektowania (CAD) są efektywnym narzędziem pracy technika dentystycznego, a drukarki 3D uwalniają od konieczności żmudnego modelowania woskowej konstrukcji przyszłego

szkieletu. W chwili obecnej, pomimo coraz szerszego dostępu do różnych nowoczesnych metod wytwarzania części metalowej protezy szkieletowej, odlewnictwo nadal pozostaje etapem zapewniającym oczekiwane właściwości stosowanych stopów, a w szczególności elastyczność elementów retencyjnych klamer.

Piśmiennictwo

1. *Spiechowicz E*: Protetyka Stomatologiczna. Podręcznik dla studentów stomatologii. PZWL 2010.
2. *Majewski S*: Współczesna Protetyka Stomatologiczna. Podstawy teoretyczne i praktyka kliniczna. Urban & Partner 2014.
3. *McGiveny GP, Carr AB*: Ruchome protezy częściowe. Wydawnictwo Czelej 2002.
4. *Budkiewicz A*: Protezy szkieletowe. PZWL 2004.
5. *Marxkors R*: The partial Denture with metal framework. Wydawnictwo BEGO 1984.
6. *Stratton RJ, Wieblet FJ*: An atlas of removable partial denture design. Wydawnictwo Quintessence 1988.
7. *Curtis SR*: Immediate dual path of insertion removable partial denture with a metal framework. *J Prosth Dent* 1999, 82, 6: 633-635.
8. *Mierzwińska-Nastalska E, Kochanek-Leśniewska A (red)*: Protetyka stomatologiczna dla techników dentystycznych. PZWL 2017.
9. *Majewski S, Pryliński M*: Materiały i technologie współczesnej protetyki stomatologicznej. Wydawnictwo Czelej 2013.
10. *Ciaputa T, Ciaputa A*: Podstawy wykonawstwa prac protetycznych. Wydawnictwo Elamed 2009.
11. *Modzelewska-Wójtowicz A, Sykut J, Borowicz J, Przybyła J*: Wykonawstwo laboratoryjne konstrukcji protezy szkieletowej górnej, odbudowującej braki zębowe w szczęce – różne przypadki. *Nowocz Tech Dentyst* 2017, 6: 14-23.
12. *Maier B*: Proteza szkieletowa wykonana metoda CAD/CAM-cz. I. *Nowocz Tech Dentyst* 2013, 4: 14-17.
13. *Maier B*: Proteza szkieletowa wykonana metoda CAD/CAM cz. II. *Nowocz Tech Dentyst* 2013, 5: 51-59.
14. *Wróbel-Bednarz K, Surowiecki D*: Zastosowanie i właściwości druku 3D – technologii przyszłości w protetyce stomatologicznej. *Protet Stomatol* 2016, 66, 6: 445-452.
15. *Goląb T, Czop P, Słoniewski J*: Cyfrowa protetyka to już nie tylko CAD/CAM. *Nowocz Tech Dentyst* 2018, 1: 54-62.
16. *Raszewski Z*: Drukarki 3D. *Nowocz Tech Dentyst* 2018, 1: 75-80.
17. *Słoniewski J, Czop P, Kaźmierowska M, Truszkowski A*: Przegląd hybrydowych technologii wytwarzania uzupełnień protetycznych. *Nowocz Tech Dentyst* 2017, 6: 44-50.
18. *Ohkubo C, Hanatani S, Hosoi T*: Present status of titanium removable dentures – a review of literature. *J Oral Reh* 2008, 35: 706-714.

Zaakceptowano do druku: 6.09.2018 r.

Adres autorów: 02-006 Warszawa, ul. Nowogrodzka 59.

© Zarząd Główny PTS 2018.