

Analysis of fitness of prosthetic bridge designed and produced with digital methods

Analiza stopnia dopasowania mostu protetycznego zaprojektowanego i wykonanego metodami cyfrowymi

**Daniel Surowiecki¹, Jan Wierzba², Roman Grygoruk²,
Kamila Wróbel-Bednarz¹**

¹ Katedra Protetyki Stomatologicznej, Studenckie Koło Naukowe, Warszawski Uniwersytet Medyczny
Department of Prosthodontics, Medical University of Warsaw
Head: prof. dr hab. n. med. *Elżbieta Mierzwińska-Nastalska*

² Instytut Mechaniki i Poligrafii, Politechnika Warszawska
Warsaw University of Technology
Head: dr hab. inż. *Marek Pawlikowski*

KEY WORDS:

digitalization, intraoral scanning, 3D printing

HASŁA INDEKSOWE:

cyfryzacja, skanowanie wewnątrzustne, druk 3D

Summary

Introduction. *In recent years the digitalization of dentistry has taken a special place in the world of scientific research. With the development of scanning methods and the improvement of software for the analysis and designing of three-dimensional objects, as well as the adaptation of milling techniques and additive technologies for dentistry applications in many clinical cases it is possible to replace the conventional procedure of prosthetic restoration with the digital process. It should be emphasized that the need of further thorough research is recommended especially on the accuracy of elements obtained with intraoral scanning and their production with additive technologies.*

Aim of the study. *Analysis of marginal and internal fit of a prosthetic bridge designed and produced using digital methods.*

Material and methods. *On the model of the jaw abutment teeth have been prepared to make a bridge. Using the intraoral scanner dental arches were scanned. The digital design was performed which was then printed using DMLS technology.*

Streszczenie

Wstęp. *W ostatnich latach szczególną pozycję w świecie badań naukowych zajęła cyfryzacja stomatologii. Wraz z rozwojem metod skanowania oraz udoskonalenia oprogramowania do analizy i projektowania obiektów trójwymiarowych, jak również zaadaptowaniem techniki frezowania i technologii addytywnych do zastosowań stomatologicznych, w wielu przypadkach klinicznych możliwe jest zastąpienie konwencjonalnej procedury wykonawstwa uzupełnienia protetycznego, procesem cyfrowym. Należy podkreślić, że wskazana jest potrzeba dalszych wnikliwych badań, zwłaszcza nad dokładnością elementów uzyskanych przez skanowanie wewnątrzustne i ich produkcję technologiami addytywnymi.*

Cel pracy. *Analiza stopnia dopasowania mostu protetycznego zaprojektowanego i wykonanego metodami cyfrowymi.*

Materiał i metody. *W obrębie modelu szczęki opracowano zęby filarowe w celu wykonania mostu. Przy użyciu skanera wewnątrzustnego zeskanowano łuki zębowe, wykonano projekt cyfrowy, który następnie wydrukowano w technologii*

gy. The prosthetic restoration was 3D scanned in order to obtain a digital geometry which was processed with specialized software. The bridge fitting analysis to the CAD model of the abutment teeth was performed.

Results. Heat map analysis allows to determine the high accuracy of bridge fitting within the abutment teeth. From 50 measurement points an average value of 0.0136 with a standard deviation of 0.0768 was obtained. The minimum value was -0.21, maximum 0.17.

Discussion. As it results from the study and reports in the literature in many clinical situations it is possible to perform a completely digital procedure of producing prosthetic restorations. In vitro studies show the potential clinical usefulness of digital methods, however, most authors agree on the need of thorough clinical trials before fully recommending the application of completely digital procedures. The use of the developed methodology allows to perform further research on the accuracy of these technologies.

Conclusions. The obtained results indicate the accuracy of producing prosthetic restoration with digital techniques. Application of these technologies allows to produce bridge characterized by high precision. The reverse engineering method can be used to numerically determine parameters which are relevant from the point of view of medical applications.

DMLS. Uzupełnienie protetyczne poddano skanowaniu 3D w celu uzyskania cyfrowej geometrii, którą przetwarzano poprzez specjalistyczne oprogramowanie. Wykonano analizę dopasowania mostu do modelu CAD zębów filarowych.

Wyniki. Analiza map cieplnych pozwala stwierdzić wysoką dokładność dopasowania mostu w obrębie zębów filarowych. Z 50 punktów pomiarowych uzyskano wartość średnią 0,0136 z odchyleniem standardowym 0,0768. Wartość minimalna wyniosła -0,21, maksymalna 0,17.

Dyskusja. Jak wynika z przeprowadzonego badania oraz doniesień, w wielu sytuacjach klinicznych możliwe jest całkowicie cyfrowe postępowanie podczas wykonywania uzupełnień protetycznych. Badania in vitro dowodzą potencjalnej przydatności klinicznej metod cyfrowych, jednak większość autorów zgodnie podkreśla potrzebę przeprowadzenia wnikliwych badań klinicznych przed pełną rekomendacją zastosowania całkowicie cyfrowych procedur. Wykorzystanie opracowanej metodyki pozwala na przeprowadzenie dalszych badań dotyczących dokładności tych technologii.

Wnioski. Uzyskane wyniki wskazują na dokładność wykonania uzupełnienia protetycznego przy użyciu technik cyfrowych. Zastosowanie wymienionych technologii pozwala na wykonanie mostu o wysokiej dokładności. Metoda odwrotnej inżynierii umożliwia liczbowe określenie parametrów istotnych z punktu widzenia zastosowań medycznych.

Introduction

In recent years the digitization of dentistry has a special position in the world of scientific research – this is an area that aims to modernize many processes performed so far using traditional methods and manual tools with controlled and computer-assisted processes. Stages of analogue techniques are not verified with precise measuring instruments, what takes place in the digitalized reality of prosthetic production.^{1,2} With the development of

Wstęp

W ostatnich latach szczególną pozycję w świecie badań naukowych zajęła cyfryzacja stomatologii - dziedzina, której celem jest unowocześnienie wielu procesów wykonywanych do tej pory przy użyciu metod tradycyjnych oraz ręcznych narzędzi przez procesy sterowane i wspomagane komputerowo. Poszczególne etapy analogowych technik nie są poddawane kontroli precyzyjnych przyrządów pomiarowych, co ma miejsce w digitalizowanej

scanning methods and improvement of three-dimensional object analysis and designing software in many clinical cases it is possible to replace the conventional procedure of taking impression with intraoral scanning, as well as working on a plaster model with designing in a computer environment.³

The application of additive technologies allows to transfer digital data to the analogue form by printing a diagnostic model which according to Kasparova et al. is characterized by high accuracy and, what follows directly from the used method, unlimited reproducibility of making its copies.^{4,5} The final stage of creating prosthetic restoration is its fabrication. Over the years it was based on casting methods or replacement of wax with acrylic, currently this technology is computer - supported and replaced by milling in a CAD / CAM system or a number of additive technologies, more widely known as 3D printing.^{6,7} Many authors confirm that prosthetic restorations fabricated in this way are characterized by better mechanical properties and marginal fitness^{8,9} and also emphasize the advantages such as reducing the time needed for their performing and the possibility of convenient web communication between a dentist and a lab technician.¹⁰ At the same time, it should be emphasized that the need for further thorough research is recommended, especially on the accuracy of elements obtained by intraoral scanning and their implementation with additive technologies which may have a direct clinical relevance and affect long term condition of produced restoration.¹¹

In the literature most papers concern the study of single crowns while there is less information about the properties of more extensive restorations.^{12,13} In the case of the prosthetic bridge performance additional factors that may influence the obtained results must be taken into consideration. At the stage of the preparation of abutment teeth the parallelity of their walls is important,¹⁴

rzeczywistości wykonawstwa uzupełnień protetycznych.^{1,2} Wraz z rozwojem metod skanowania oraz udoskonalenia oprogramowania do analizy i projektowania obiektów trójwymiarowych, w wielu przypadkach klinicznych możliwe jest zastąpienie konwencjonalnej procedury pobierania wycisku, skanowaniem wewnątrzustnym, natomiast pracę na modelu gipsowym – projektowaniem w środowisku komputerowym.³

Zastosowanie technologii addytywnych umożliwia z kolei ponowny transfer cyfrowych danych na formę analogową poprzez drukowanie modelu diagnostycznego, który zgodnie z badaniami *Kasparovej i wsp.* charakteryzuje się wysoką dokładnością oraz, co wynika wprost z zastosowanej metody jego produkcji, nieograniczoną powtarzalnością wykonywania jego kopii.^{4,5} Ostatnim etapem wykonawstwa uzupełnienia protetycznego jest jego wyprodukowanie, przez lata oparte na metodach odlewniczych, czy zamianie wosku na akryl, obecnie technologia ta wspomagana jest komputerowo i zastępowana frezowaniem w systemie CAD / CAM lub szeregiem technologii addytywnych, szerzej znanych jako druk 3D.^{6,7} Wielu autorów potwierdza, iż tak wykonane uzupełnienia protetyczne wykazują lepsze właściwości mechaniczne i szczelność brzeżną,^{8,9} a także podkreślają zalety, takie jak skrócenie czasu potrzebnego na ich wykonanie oraz możliwość wygodnej komunikacji internetowej pomiędzy lekarzem a technikiem.¹⁰ Należy podkreślić jednocześnie, że wskazana jest potrzeba dalszych wnikliwych badań, zwłaszcza nad dokładnością elementów uzyskanych przez skanowanie wewnątrzustne i ich wykonanie technologiami addytywnymi, co może mieć bezpośrednie przełożenie kliniczne i warunkować długoczasowość użytkowania uzupełnienia.¹¹

W piśmiennictwie większość opracowań dotyczy badania pojedynczych koron, mniej jest natomiast informacji o właściwościach bardziej rozbudowanych uzupełnień.^{12,13} W przypadku

the scanning process is more complicated because the toothless part of the alveolar ridge must be covered, while the fabrication stage is exposed to greater inaccuracy due to the dimensions and complexity of the structure consisting of crowns connected by a pontic. Spatial laboratory analysis also becomes a more difficult task, requiring the use of additional actions including simultaneous adjustment of two crowns to the abutment teeth. On the basis of the above information it seems advisable to analyze the accuracy of the procedure of the production of prosthetic restorations using fully digital methods, including intraoral scanning, designing in a computer environment and fabrication using additive technologies.

Aim of the study

The aim of the study is to analyze marginal and internal fit of prosthetic bridge designed and produced using digital methods.

Material and methods

Within the phantom model of the jaw in accordance with the current rules the second right premolar and the second right molar were prepared in order to make a three-unit bridge to reconstruct the lack of the first molar tooth (Figure 1). Using the Trios III intraoral scanner (3Shape, Denmark) dental arches with precise registration of the abutment teeth were scanned, obtaining digital models (Figure 2) which were sent to the technical module of the 3Shape software. The next stage was the implementation of a digital project including upper and lower arch models and the backing of the bridge, taking into account the choice of prosthetic restoration and material from which it will be made, as well as precise bridge parameters, i.e. thickness of individual walls, space for cement, pontic shape and covering crowns. Obtained STL files were sent to the

wykonawstwa mostu protetycznego muszą zostać uwzględnione dodatkowe czynniki, które mogą mieć wpływ na uzyskane rezultaty. Na etapie opracowania zębów filarowych istotna jest wzajemna równoległość ich ścian,¹⁴ proces skanowania jest bardziej skomplikowany, ponieważ objęty musi zostać bezzębny fragment wyrostka lub części zębodołowej, natomiast etap wykonania narażony jest na większą niedokładność ze względu na wymiary i stopień złożoności konstrukcji składającej się z koron połączonych przęsłem. Przestrzenna analiza laboratoryjna staje się również zadaniem trudniejszym, wymagającym zastosowania dodatkowych działań, obejmujących równoczesne dopasowanie dwóch koron do zębów filarowych. Na podstawie wyżej podanych informacji, celowa wydaje się analiza dokładności procedury wykonawstwa uzupełnień protetycznych metodami w pełni cyfrowymi, obejmującymi skanowanie wewnątrzustne, projektowanie w środowisku komputerowym oraz produkcję z wykorzystaniem technologii addytywnych.

Cel pracy

Celem pracy jest analiza stopnia dopasowania mostu protetycznego zaprojektowanego i wykonanego metodą cyfrową.

Material i metoda

W obrębie modelu fantomowej szczęki zgodnie z obowiązującymi zasadami oszlifowano drugi ząb przedtrzonowy prawy oraz drugi ząb trzonowy prawy w celu wykonania mostu trójpunktowego, odbudowującego brak pierwszego zęba trzonowego (ryc. 1). Przy użyciu skanera wewnątrzustnego Trios III (3Shape, Dania) zeskanowano łuki zębowe z precyzyjnym zarejestrowaniem zębów filarowych, uzyskując modele cyfrowe (ryc. 2), które zostały przesłane do modułu technicznego oprogramowania 3Shape. Kolejnym



Fig. 1. Prepared abutment teeth.
Ryc. 1. Opracowane zęby filarowe.

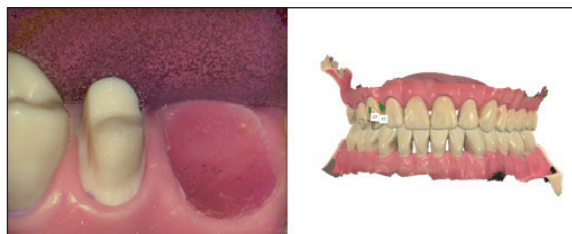


Fig. 2. Digital model obtained using intraoral scanning.
Ryc. 2. Model cyfrowy otrzymany podczas skanowania wewnątrzustnego.



Fig. 3. Project of the prosthetic restoration.
Ryc. 3. Zapisany projekt uzupełnienia protetycznego.

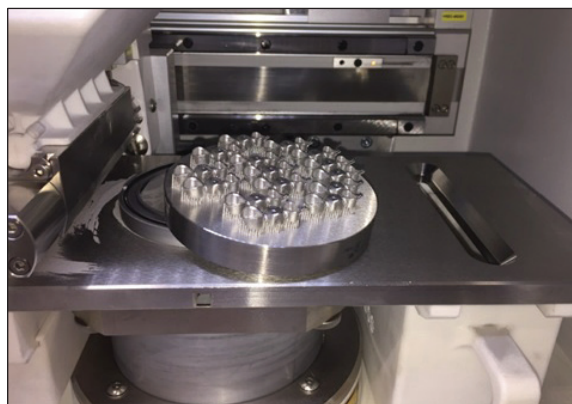


Fig. 4. Production using DMLS technology.
Ryc. 4. Produkcja w technologii DMLS.

laboratory (Figure 3), in which prosthetic restorations were printed using DMLS technology (Direct Metal Laser Sintering) in the M100 device (EOS, Germany) (Figure 4). This technology uses a laser beam to melt and bond metal powder layers, in the described case of cobalt-chromium alloy.⁶ The metal backing of the three-unit bridge obtained this way was prepared depriving reflexivity and then subjected to 3D scanning in order to obtain digital geometry. In this case specialized Atos Compact Scan 5M 3D scanner (GOM, Germany) has been applied using blue light technology, so that the exposure of the element is less susceptible to ambient light conditions. The scanner projects the fringe pattern onto the surface of the model which is recorded by two independent cameras and then processed by specialized software provided by the device

etapem było wykonanie projektu cyfrowego, obejmującego modele łuku górnego i dolnego oraz podbudowę mostu, uwzględniając wybór rodzaju uzupełnienia protetycznego i materiału, z którego zostanie wykonany, a także precyzyjne parametry mostu, czyli grubość poszczególnych ścian, przestrzeń na cement, kształt przęsła oraz koron pokrywających zęby filarowe z uwzględnieniem dopasowania względem łuku przeciwstawnego w prawidłowych kontaktach zwarciovych. Tak uzyskane pliki STL wysłano do pracowni (ryc. 3), w której wydrukowano uzupełnienia protetyczne, używając technologii DMLS (Direct Metal Laser Sintering) w urządzeniu M100 (EOS, Niemcy) (ryc. 4). Technologia ta wykorzystuje wiązkę lasera do topienia i spajania warstw proszku metalu, w opisywanym przypadku stopu kobaltowo-chromowego (6).

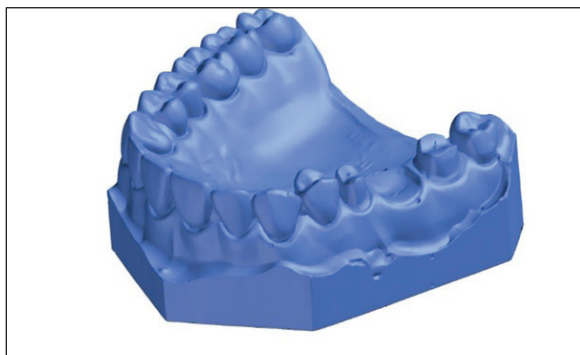


Fig. 5. Nominal geometry of the jaw.

Ryc. 5. Geometria nominalna szczęki.

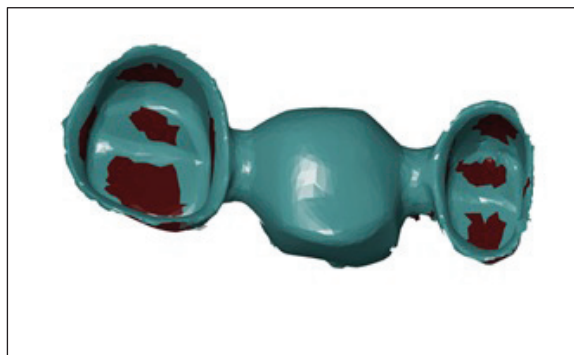


Fig. 6. The best fit area.

Ryc. 6. Obszar najlepszego dopasowania.

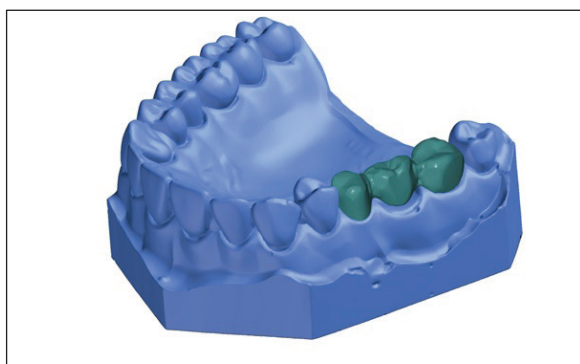


Fig. 7. Prealignment of the restoration.

Ryc. 7. Wstępne podstawowe dopasowanie.

manufacturer – GOM Inspect. Using the mentioned software the obtained point cloud with spatial coordinates was transformed to the surface described by the triangle mesh. The next step was the correction of the mesh obtained by closing the open contours and surfaces resulting from insufficient exposure in hard to reach areas. In the corrected surface the directional vectors have been turned to allow later fitting of the element. In the same way the digital geometry of the model was obtained, on which the abutment teeth were prepared. Then a solid model was generated from the obtained and repaired surface. The obtained CAD model was the reference point for further measurements and in the further part of the work it was called the nominal element (Figure 5). The above process which aimed to generate virtual models is called

Tak uzyskaną podbudowę metalową mostu trójpunktowego, przygotowano pozbawiając refleksyjności, a następnie poddano skanowaniu 3D w celu uzyskania cyfrowej geometrii. W badaniach zastosowano specjalistyczny skaner 3D Atos Compact Scan 5M (GOM, Niemcy) wykorzystujący technologię światła niebieskiego, dzięki której naświetlenie elementu jest mniej podatne na warunki oświetlenia otoczenia. Skaner rzutuje na powierzchnię modelu układ prążków, które są rejestrowane poprzez dwie niezależne kamery, a następnie przetwarzane poprzez specjalistyczne oprogramowanie dołączone przez producenta urządzenia – GOM Inspect. Wykorzystując wspomniane oprogramowanie, uzyskaną chmurę punktów o współrzędnych przestrzennych, przekształcono na powierzchnię opisaną przez siatkę trójkątów. Następnym etapem była korekta otrzymanej siatki poprzez zamknięcie otwartych konturów i powierzchni powstałych na skutek niewystarczającego naświetlenia w miejscach trudno dostępnych. W tak skorygowanej powierzchni odwrócono wektory kierunkowe aby umożliwić późniejsze dopasowanie elementu. W ten sam sposób uzyskano cyfrową geometrię modelu, na którym oszlifowano zęby filarowe. Następnie wygenerowano

reverse engineering. The purpose of such a procedure is the possibility of subjecting a detailed geometric analysis of spatial objects.

The next stage in the research was the analysis of the fitness of the three-unit bridge to the nominal element. Also in this part the GOM Inspect software was used, in particular the *prealignment function* so called the primary fit (figure 6) and the *local best fit function* which led to the best fit based on the indicated surface area covering the inner walls of the crowns (Figure 7). It was established that for measurements the accepted tolerance would be $\pm 0.15\text{mm}$. 50 measurement points were used for the analysis. The obtained data were subjected to statistical analysis using the Statistica software with the use of descriptive statistics. Maximum values, minimum values and mean value with standard deviation were shown, as well as the Shapiro-Wilk test was carried out to determine the normality of distribution of deviations of the inner surface of the bridge.

Results

Graphically deviations of fitting the bridge to the abutment teeth are presented in this paper according to the accepted tolerance, where the values marked in red mean above, while the blue - below the assumed interval (Figure 8). Both graphics show only areas that are included in the selected range or not, with an additional yellow area meaning approaching the boundary of the compartment. Heat maps with a precise indication of deviations according to the given color scale were made. Map analysis allows to determine the high accuracy of the bridge fitting within the abutment teeth, both on the surfaces corresponding to the walls of the abutment teeth and in the gingival region. The largest deviations were recorded within the occlusal surfaces, both the premolar and molar teeth, as well as the mesial surface of the premolars. Buccal and palatal surfaces of the abutment

model bryłowy z uzyskanej i naprawionej powierzchni. Otrzymany model CAD stanowił punkt odniesienia dla dalszych pomiarów i w dalszej części pracy został nazwany elementem nominalnym (ryc. 5). Powyższy proces, którego celem było wygenerowanie modeli wirtualnych, nazywany jest odwrotną inżynierią. Celem takiego postępowania jest możliwość poddania szczegółowej analizie geometrycznej obiektów przestrzennych.

Następnym etapem w badaniach była analiza stopnia dopasowania mostu trójpunktowego do elementu nominalnego. Również w tej części korzystano z oprogramowania GOM Inspect, a w szczególności z funkcji *prealignment*, czyli tzw. pierwotnego dopasowania (ryc. 6) oraz funkcji *local best fit*, która doprowadziła do najlepszego dopasowania na podstawie wskazanego obszaru powierzchniowego obejmującego ściany wewnętrzne koron (ryc. 7). Ustalono, iż dla pomiarów przyjętą tolerancją będzie wartość $\pm 0,15\text{mm}$. Do analizy posłużyło 50 punktów pomiarowych. Uzyskane dane zostały poddane analizie statystycznej przy użyciu programu Statistica z zastosowaniem statystyki opisowej, przedstawiającej wartości maksymalne, minimalne oraz wartość średnią z odchyleniem standardowym, a także wykonano test Shapiro-Wilka w celu określenia normalności rozkładu odchyłeń powierzchni wewnętrznej podbudowy mostu.

Wyniki

W niniejszej pracy przedstawiono graficznie odchylenia dopasowania mostu do zębów filarowych, zgodnie z przyjętą tolerancją, gdzie wartości oznaczone kolorem czerwonym oznaczają wartość powyżej, natomiast niebieskim – poniżej przyjętego przedziału (ryc. 8). Wykonano zarówno grafikę pokazującą tylko obszary, które zawierają się w wybranym przedziale lub nie, z dodatkowym

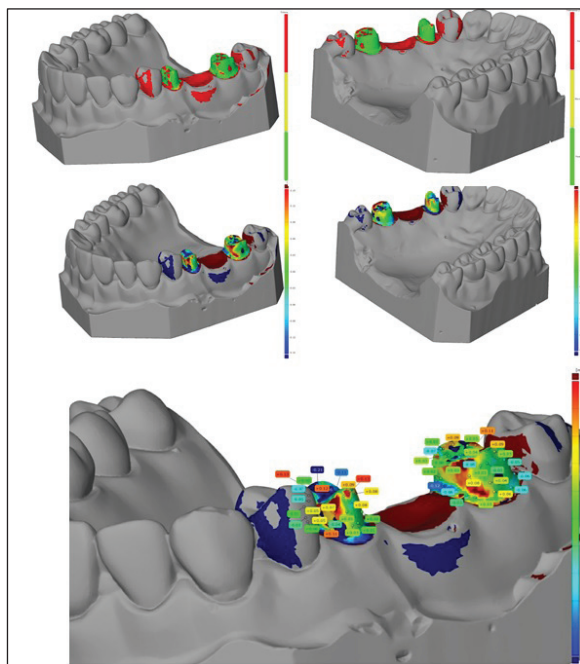


Fig. 8. Presentation of the results for a given fit.

Ryc. 8. Przedstawienie wyników dla zadanego dopasowania.

teeth are characterized by the best fit, also including the gingival zone responsible for the marginal fit of the prosthetic restoration. In addition, from 50 measurement points presented in tab. 1, an average value of 0.0136 with a standard deviation of 0.0768 was obtained. The minimum value was -0.21 and the maximum was 0.17. What is worth noting, as many as 94% of selected points are within the tolerance range. The Shapiro-Wilk test confirmed the zero hypothesis H_0 : The distribution of deviations is a normal distribution, the result of the test for the value of significance level $\alpha = 0.05$ is larger (Figure 11) which allows for statistical comparative analysis in subsequent tests. The graph shows the histogram with the curve of the expected normal distribution. A cross-section of the nominal element with a fitting crown for the premolar tooth was also performed, the results of which are shown in Figure 9 and 10, a small tolerance range of ± 0.15 mm is visible on the occlusal surface, which does

żółtym obszarem, oznaczającym zbliżenie się do granicy przedziału, jak również mapy cieplne z precyzyjnym wskazaniem wartości odchyleń, zgodnie z podaną skalą kolorystyczną. Analiza map pozwala stwierdzić wysoką dokładność dopasowania mostu w obrębie zębów filarowych, zarówno na powierzchniach odpowiadających ścianom zębów filarowych, jak i w strefie przydziąsłowej. Największe odchylenia zanotowano w obrębie powierzchni żujących, zarówno zęba przedtrzonowego, jak i trzonowego, a także powierzchni mezialnej zęba przedtrzonowego. Najlepszym dopasowaniem charakteryzują się powierzchnie policzkowe i podniebienne zębów filarowych, również obejmując strefę przydziąsłową, odpowiadającą za szczelność brzezną uzupełnienia protetycznego. Ponadto z 50 punktów pomiarowych przedstawionych w tab. 1 uzyskano wartość średnią 0,0136 z odchyleniem standardowym wynoszącym 0,0768. Wartość minimalna wyniosła -0,21, a maksymalna 0,17. Co warto uwagi, aż 94% wybranych punktów zawiera się w zakresie tolerancji. Przeprowadzony test Shapiro-Wilka potwierdził hipotezę zerową H_0 : Rozkład odchyleń jest rozkładem normalnym, wynik testu dla wartości poziomu istotności $\alpha=0,05$ jest większy (ryc. 11), co pozwala na przeprowadzenie statystycznych analiz porównawczych w kolejnych badaniach. Na wykresie przedstawiono histogram z nałożoną krzywą oczekiwanego rozkładu normalnego. Wykonano również przekrój elementu nominalnego z dopasowaną koroną na ząb przedtrzonowy, której wyniki obrazuje ryc. 9 i 10, widoczny jest niewielki obszar przekroczenia tolerancji $\pm 0,15$ mm, znajdujący się na powierzchni żującej, nie wpływający na ogólną akceptację kliniczną uzupełnienia. Pozostałe obszary przekroju wskazują na dopasowanie, nie tylko nie przekraczające zadanej tolerancji, ale zawarte w granicach mniejszych niż odchylenie $\pm 0,1$ mm.

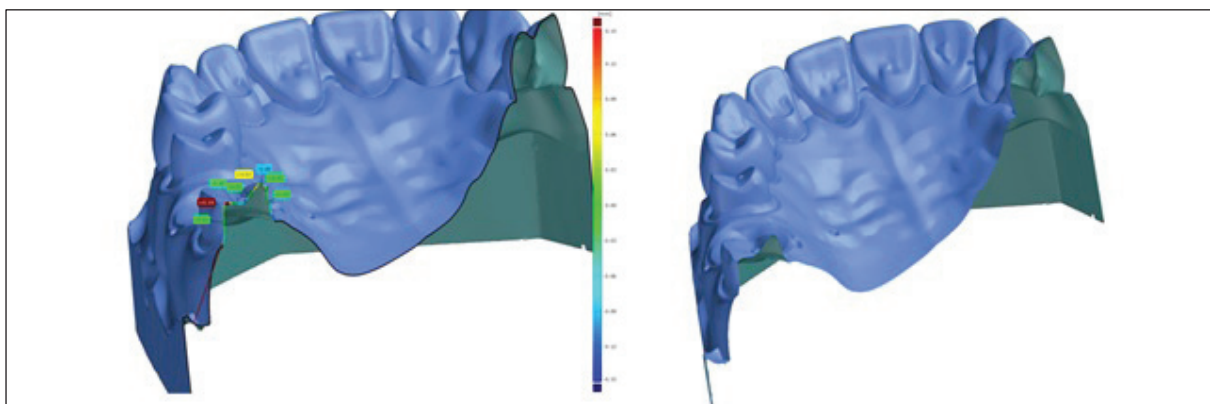


Fig. 9. Cross section of the nominal and current element (for Local Best Fit).

Ryc. 9. Przekrój elementu nominalnego i aktualnego (dla Local Best Fit).

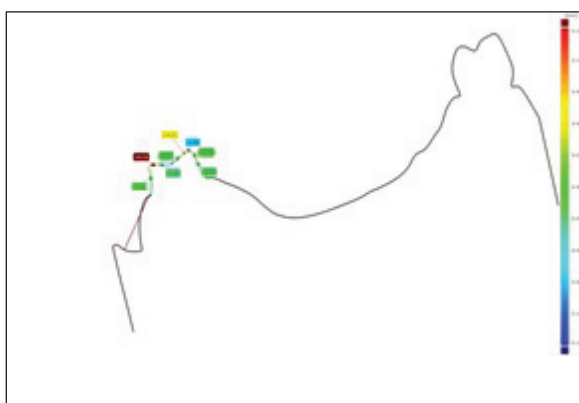


Fig. 10. Values of deviations obtained for the cross section.

Ryc. 10. Wartości odchyłeń uzyskanych dla danego przekroju.

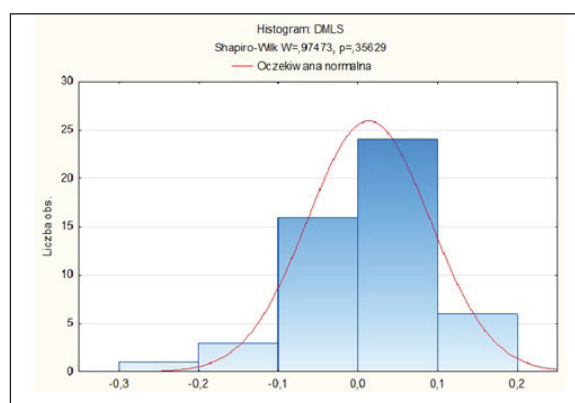


Fig. 11. Distribution of deviations from selected measurement points.

Ryc. 11. Rozkład odchyłeń z wybranych punktów pomiarowych.

not affect the overall clinical acceptance of the restoration. The remaining areas of the cross-section indicate a fit, not only not exceeding the set tolerance, but included in limits smaller than the deviation of ± 0.1 mm.

Discussion

As it results from the research and recent reports in the world literature in many clinical situations it has become possible to perform completely digital procedures aimed at restoring the quantitative lack of teeth.^{15,16} Such a procedure, in addition to the obvious improvement of patient comfort and the

Dyskusja

Jak wynika z przeprowadzonego badania oraz ostatnich doniesień w światowym piśmiennictwie, w wielu sytuacjach klinicznych możliwe stało się całkowicie cyfrowe postępowanie, mające na celu odbudowę braków ilościowych zębów.^{15,16} Taka procedura, oprócz oczywistej poprawy komfortu dla pacjenta oraz potencjalnego skrócenia czasu pracy¹⁷ stwarza możliwość uniknięcia błędów, charakterystycznych dla konwencjonalnych metod, począwszy od kontroli opracowania filarów w oprogramowaniu skanera, poprzez projektowanie w dużej mierze oparte na liczbowym

Table 1. Values of measuring points (Local Best Fit)
 Table 1a. Wartości punktów pomiarowych (Local Best Fit)

Element	Tol -	Tol +	Dev	Out
Surface comparison 1.1	-0,15	0,15	0,03	
Surface comparison 1.2	-0,15	0,15	0,03	
Surface comparison 1.3	-0,15	0,15	0,13	
Surface comparison 1.4	-0,15	0,15	-0,16	-0,01
Surface comparison 1.5	-0,15	0,15	-0,21	-0,06
Surface comparison 1.6	-0,15	0,15	-0,11	
Surface comparison 1.7	-0,15	0,15	0,17	0,02
Surface comparison 1.8	-0,15	0,15	0,11	
Surface comparison 1.9	-0,15	0,15	0,01	
Surface comparison 1.10	-0,15	0,15	0,08	
Surface comparison 1.11	-0,15	0,15	0,09	
Surface comparison 1.12	-0,15	0,15	0,08	
Surface comparison 1.13	-0,15	0,15	0,02	
Surface comparison 1.14	-0,15	0,15	0,05	
Surface comparison 1.15	-0,15	0,15	0	
Surface comparison 1.16	-0,15	0,15	0,05	
Surface comparison 1.17	-0,15	0,15	0	
Surface comparison 1.18	-0,15	0,15	-0,05	
Surface comparison 1.19	-0,15	0,15	-0,01	
Surface comparison 1.20	-0,15	0,15	-0,07	
Surface comparison 1.21	-0,15	0,15	0,13	
Surface comparison 1.22	-0,15	0,15	0,12	
Surface comparison 1.23	-0,15	0,15	-0,04	
Surface comparison 1.24	-0,15	0,15	0,07	
Surface comparison 1.25	-0,15	0,15	-0,03	

Element	Tol -	Tol +	Dev	Out
Surface comparison 1.26	-0,15	0,15	0,03	
Surface comparison 1.27	-0,15	0,15	0,03	
Surface comparison 1.28	-0,15	0,15	-0,05	
Surface comparison 1.29	-0,15	0,15	-0,03	
Surface comparison 1.30	-0,15	0,15	0,04	
Surface comparison 1.31	-0,15	0,15	0,06	
Surface comparison 1.32	-0,15	0,15	-0,06	
Surface comparison 1.33	-0,15	0,15	-0,06	
Surface comparison 1.34	-0,15	0,15	0,09	
Surface comparison 1.35	-0,15	0,15	0,11	
Surface comparison 1.36	-0,15	0,15	0,03	
Surface comparison 1.37	-0,15	0,15	0,09	
Surface comparison 1.38	-0,15	0,15	-0,07	
Surface comparison 1.39	-0,15	0,15	0	
Surface comparison 1.40	-0,15	0,15	-0,05	
Surface comparison 1.41	-0,15	0,15	0,02	
Surface comparison 1.42	-0,15	0,15	-0,12	
Surface comparison 1.43	-0,15	0,15	-0,06	
Surface comparison 1.44	-0,15	0,15	-0,03	
Surface comparison 1.45	-0,15	0,15	0,03	
Surface comparison 1.46	-0,15	0,15	0,08	
Surface comparison 1.47	-0,15	0,15	0,04	
Surface comparison 1.48	-0,15	0,15	0,03	
Surface comparison 1.49	-0,15	0,15	0,03	
Surface comparison 1.50	-0,15	0,15	0,01	

potential reduction of working time,¹⁷ makes it possible to avoid errors typical of conventional methods, from controlling the preparation of abutment teeth in the scanner software, through designing based mainly on the numerical representation of the complement dimensions to the production with devices used for this type of work, characterized by high accuracy. Numerous in-vitro studies show the potential clinical usefulness of digital methods, however, most of the authors agree that there is a need

przedstawieniu wymiarów uzupełnienia aż po wykonanie w urządzeniach stosowanych do tego typu prac, charakteryzujących się wysoką dokładnością. Liczne badania in vitro dowodzą potencjalnej przydatności klinicznej metod cyfrowych, jednak większość autorów zgodnie podkreśla potrzebę przeprowadzenia wnikliwych badań klinicznych przed pełną rekomendacją zastosowania całkowicie cyfrowych procedur w codziennej praktyce.^{18,19}

Warta podkreślenia jest również forma

for thorough clinical trials before completely digital procedures could be fully recommend the use in daily practice.^{18,19}

The form of data recording is also worth emphasizing, enabling immediate contact between a doctor and a lab technician, but requiring special care for ensuring safety due to the nature of medical records. The research carried out by the Authors indicates the possible procedure for prosthetic restoration using modern technologies and the method of their analysis using reverse engineering to virtual control of the-completed restoration's accuracy. This method allows to estimate the marginal integrity, the potential space for cement as well as the properties of the restoration itself. The use of the numerical analysis of the degree of fitting abutment to the bridge is rarely described in the literature as an alternative to the existing methods of marginal fit assessment, such as the replica method in which measurements are performed using a microscope or microtomography image analysis. These techniques depend to a greater extent on the person performing the reasearch.^{9,20,21} The use of the developed methodology allows for further research in which analog and digital methods as well as other technologies of computer-assisted manufacturing can be compared.

Conclusions

1. The obtained results indicate the accuracy of the fabrication of prosthetic restoration using digital techniques.
2. The technology of laser sintering of metal preceded by the process of intraoral scanning and digital designing allows for the production of a three-unit bridge with a high degree of fitness.
3. The reverse engineering method allows the numerical determination of parameters such as marginal fit and adequate space for cement relevant to medical applications.

zapisu danych, umożliwiającą natychmiastowy kontakt między lekarzem i technikiem, ale wymagająca szczególnej troski o zapewnienie bezpieczeństwa ze względu na charakter dokumentacji medycznej. Badanie przeprowadzone przez Autorów wskazuje możliwą procedurę wykonania uzupełnienia protetycznego z wykorzystaniem nowoczesnych technologii oraz sposób ich analizy, wykorzystujący odwrotną inżynierię w celu wirtualnej kontroli dokładności wykonanego uzupełnienia. Metoda ta pozwala oszacować szczelność brzeżną, potencjalną przestrzeń na cement, jak również właściwości samego uzupełnienia. Zastosowanie numerycznej analizy stopnia dopasowania mostu do zębów filarowych stanowi rzadko opisywaną w piśmiennictwie alternatywę dla dotychczasowych sposobów oceny szczelności brzeżnej, takich jak metoda repliki, w której pomiary dokonywane są przy użyciu mikroskopu, czy analiza obrazu mikrotomografii, które jednak w większym stopniu zależą od osoby wykonującej badanie.^{9,20,21} Wykorzystanie opracowanej metodyki pozwala na przeprowadzenie dalszych badań, w których porównane mogą zostać metody analogowe i cyfrowe, jak również inne technologie komputerowo wspomaganego wykonywania uzupełnień protetycznych.

Wnioski

1. Uzyskane wyniki badań wskazują na dokładność wykonania uzupełnienia protetycznego przy użyciu technik cyfrowych.
2. Technologia laserowego spiekania metalu poprzedzona procesem skanowania wewnątrzustnego i cyfrowego projektowania pozwala na produkcję trzypunktowego mostu o wysokim stopniu dopasowaniu.
3. Metoda odwrotnej inżynierii pozwala na liczbowe określenie istotnych z punktu widzenia zastosowań medycznych parametrów, takich jak szczelność brzeżna i odpowiednia przestrzeń na cement.

Podziękowania

Autorzy wyrażają podziękowania firmie BIBUS MENOS Sp. z o.o. za pomoc w realizacji pracy.

References / Piśmiennictwo

1. *Culp L*: Digital Dentistry: A New Era of Patient Care. *Compendium* 2013, 34, 10, 782-783.
2. *Majewski S*: Nowe technologie wytwarzania stałych uzupełnień zębowych galwanoforミング, technologia CAD/CAM, obróbka tytanu i współczesne systemy ceramiczne. *Protet Stomatol* 2007, 57, 2, 124-131.
3. *Shenoy VK, Prabhu BM*: Computer-aided design/computer-aided manufacturing in dentistry – Future is present. *J Interdiscip Dentistry* 2015, 5, 60-64.
4. *Kasparova M, Grafova L, Dvorak P, Dostalova T, Prochazka A, Eliasova H, Prusa J, Kakawand S*: Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3D digital study models. *Biomed Eng Online* 2013, 12, 49.
5. *Raghavan R, Kumar R, Geethaprasad TS*: 3-D Printing – An Innovation Driving Prosthodontics To Future. *Guident* 2016, 1, 28-30.
6. *Wróbel-Bednarsz K, Surowiecki D*: Zastosowanie i właściwości druku 3D – technologii przyszłości w protetyce stomatologicznej. *Protet Stomatol* 2016, 66, 6, 453-460.
7. *Gajdus P, Niedźwiedzki T, Hędzulek W*: Zastosowanie wybranych cyfrowych technologii w wytwarzaniu metalowych struktur protez stałych, *Protet Stomatol* 2014, 64, 1, 5-10.
8. *Choi YJ, Koak JY, Heo SJ, Kim SK, Ahn JS, Park DS*: Comparison of the mechanical properties and microstructures of fractured surface for Co-Cr alloy fabricated by conventional cast, 3-D printing laser-sintered and CAD/CAM milled techniques. *J Korean Acad Prosthodont* 2014, 52, 2, 67-73.
9. *Ng J, Ruse D, Wyatt C*: A comparison of the marginal fit of crowns fabricated with digital and conventional methods. *J Prosthet Dent* 2014, 112, 3, 555-560.
10. *Chen J, Ahmad R, Suenaga H, Li W, Sasaki K, Swain M, Li Q*: Shape Optimization for Additive Manufacturing of Removable Partial Dentures – A New Paradigm for Prosthetic CAD/CAM. *PLoS ONE* 2015, 7, 10.
11. *Quante K, Ludwig K, Kern M*: Marginal and internal fit of metal-ceramic crowns fabricated with a new laser melting technology. *Dental Materials* 2008, 24, 10, 1311-1315.
12. *Renne W, McGill ST, Forshee KV, DeFee MR, Mennito AS*: Predicting marginal fit of CAD/CAM crowns based on the presence or absence of common preparation errors *J Prosthet Dent* 2012, 108, 5, 310-315.
13. *Spiechowicz E*: Protetyka stomatologiczna. Podręcznik dla studentów. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 2015.
14. *Siemiński P, Budzik G*: Techniki przyrostowe. Druk 3D. Drukarki 3D. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2015.
15. *Bibb R, Eggber D, Williams R*: Rapid manufacture of removable partial denture frameworks. *Rapid Protot J* 2006, 12, 95-99.
16. *Cetik S, Bahrami B, Fossoyeux I, Atash A*: Adaptation of zirconia crowns created by conventional versus optical impression: in vitro study, *J Adv Prosthodont* 2017, 9, 3, 208.
17. *Patzelt S, Lamprinos C, Stampf S, Att W*: The time efficiency of intraoral scanners: An in vitro comparative study. *JADA* 2014, 6, 542-551.
18. *Sun J, Zhang FQ*: The Application of Rapid Prototyping in Prosthodontics. *J Prosthet*

- Dent 2012, 8, 641-644.
19. *Torabi K, Farjood E, Hamedani S*: Rapid Prototyping Technologies and their Applications in Prosthodontics, a Review of Literature. *J Dent* 2015, 16, 1, 1-9.
20. *Pelekanos S, Koumanou M, Koutayas SO, Zinelis S, Eliades G*: Micro-CT Evaluation of the Marginal Fit of Different In-Ceram Alumina Copings. *Int J Esthet Dent* 2009, 3, 4, 278-292.
21. *Vojdani M, Torabi K, Atashkar B, Heidari H, Torabi-Ardakani M*: A Comparison of the Marginal and Internal Fit of Cobalt- Chromium Copings Fabricated by Two Different CAD/CAM Systems(CAD/ Milling, CAD/ Ceramill Sintron). *J Dent Shiraz UnivMed Sci* 2016, 17, 4, 301-308.

Zaakceptowano do druku: 12.01.2018 r.

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

© Zarząd Główny PTS 2018.