

Comparison of the accuracy of full-arch scans obtained with different scanners, depending on the depth and shape of the preparation – an *in vitro* study

Porównanie dokładności skanów pełnego łuku wykonanych różnymi skanerami w zależności od głębokości i kształtu preparacji – badanie *in vitro*

*Mateusz Wojciechowski¹, Alicja Wojciechowska¹,
Aleksandra Marta Nitecka-Buchta¹, Wojciech Kempa², Stefan Baron¹*

¹ Katedra Dysfunkcji Narządu Żucia, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach
Department of Masticatory Dysfunctions, Medical University of Silesia in Katowice
Kierownik: prof. dr hab. n. med. *Stefan Baron*

² Katedra Zastosowań Matematyki i Metod Sztucznej Inteligencji, Wydział Matematyki Stosowanej,
Politechnika Śląska, Gliwice
Department of Mathematics Applications and Methods for Artificial Intelligence,
Faculty of Applied Mathematics, Silesian University of Technology, Gliwice
Kierownik: dr. hab. inż. *Waldemar Hołubowski*, prof. PŚ

KEY WORDS:

intraoral scanner, laboratory scanner, digital dentistry, scanning precision, deep preparation

HASŁA INDEKSOWE:

skaner wewnątrzustny, skaner laboratoryjny, stomatologia cyfrowa, precyzja skanowania, głęboka preparacja

Summary

Introduction. There is an increasing amount of research on digital dental solutions. The influence of depth and shape of the preparation on trueness, and precision of IOS was analysed.

Aim of the study. This *in vitro* study was performed to compare the accuracy of full-arch scans from different scanners, depending on the depth and the shape of the preparation. Scans were compared with the reference scanner.

Material and methods. A 3D-printed fully dentate mandible printed model with six standardized preparations of varying depth and outline was scanned with eight intraoral scanners and one laboratory scanner. The printed model was then scanned with a highly precise benchmark

Streszczenie

Wprowadzenie. Pojawia się coraz większa liczba prac badawczych dotyczących cyfrowych rozwiązań w stomatologii. Przeprowadzono analizę wpływu głębokości i kształtu preparacji na wierność i precyzję skanów wewnątrzustnych.

Cel pracy. Niniejsze badanie *in vitro* przeprowadzono w celu oceny precyzji 8 różnych skanerów wewnątrzustnych i 1 skanera laboratoryjnego podczas skanowania głębokich preparacji w pełnym łuku zębowym.

Materiał i metody. Wydrukowano uzębiony model żuchwy z sześcioma standardowymi preparacjami o różnej głębokości i kształcie. Model ten został zeskanowany za pomocą 8 skanerów wewnątrzustnych, 1 skanera laboratoryjnego

scanner (Comet 6, ZEISS). Preparations were divided into three outline forms: circle, rectangle, square and two depth groups of 3.0 and 6.0 mm. All scans were compared for a best-fit accuracy with the reference scan.

Results. The results obtained for Emerald (0-880.0 μm) and iTero (10-180.0 μm) scanners were characterized by the worst trueness parameter and high dispersion of data. Other scanners did not differ from the reference level (0) by more than 100.0 μm and neither the depth nor the shape of the preparation played a significant role in accuracy. The best accuracy was observed for TRIOS4 (0-50.0 μm) Omnicam (0-40.0 μm) The laboratory scanner (Series7, Dental Wings) achieved trueness level of 12.5-70.0 μm .

Conclusions. Most scanners compared in this study were able to perform well in typical clinical situations. Outlier measurements obtained for Emerald and iTero may result from software or technical issues. Intraoral scanners showed similar accuracy to the laboratory scanner compared in this study.

oraz skanera referencyjnego o wysokiej precyzji (Comet 6, ZEISS). Standardowe preparacje podzielono w zależności od kształtu obrysu (koło, prostokąt, kwadrat) i głębokości (3,0 i 6,0 mm). Wszystkie skany zostały porównane pod kątem dokładności najlepszego dopasowania ze skanem wzorcowym.

Wyniki. Wyniki uzyskane dla skanerów Emerald (0-880,0 μm) i iTero (10-180,0 μm) charakteryzują się najmniejszą precyzją i dużym rozrzutem danych. Pozostałe skanery nie różniły się od poziomu referencyjnego (0) o więcej niż 100,0 μm , ani głębokość, ani kształt preparacji nie wpływały istotnie na precyzję skanów. Najlepszą dokładność zaobserwowano dla TRIOS4 (0-50,0 μm) i Omnicam (0-40,0 μm). Skaner laboratoryjny (Series7, Dental Wings) cechowała precyzja 12,5-70,0 μm .

Wnioski. Większość skanerów porównanych w niniejszym badaniu cechuje wystarczająca precyzja dla typowych zastosowań klinicznych. Odstające pomiary uzyskane dla skanerów Emerald i iTero mogą wynikać z błędów oprogramowania lub problemów technicznych. Uwzględnione w tym badaniu skanery wewnątrzustne cechowała podobna precyzja do skanera laboratoryjnego.

Introduction

More than three decades ago the first CEREC system was introduced.¹ Since then, the technology of intraoral scanners (IOSs) has vastly improved and has become an essential element of the digital dentistry concept.² Implementing this technology in the field of prosthodontics enabled the use of innovative dental materials, improving the biomimetic and aesthetic outcomes of restorations with outstanding mechanical characteristics.² Nowadays, thanks to rapid pace of development, the technology of intraoral scanning has a wide indication of use from single tooth restorations to full-arch and implant-supported prostheses.³⁻⁵ Other pros of IOS listed in the literature include increased

Wprowadzenie

Ponad trzy dekady temu wprowadzono pierwszy system CEREC.¹ Od tego czasu technologia skanerów wewnątrzustnych (IOS) przeszła zaawansowany rozwój i stała się istotnym fundamentem koncepcji stomatologii cyfrowej.² Wdrożenie tej technologii w dziedzinie protetyki pozwoliło na wykorzystanie nowoczesnych materiałów odtwórczych oraz technik projektowania i wytwarzania uzupełnień protetycznych. Efektem tego jest możliwość wykonawstwa prac protetycznych o wyjątkowych właściwościach mechanicznych, biomimetycznych oraz estetycznych.² Obecnie, dzięki szybkemu tempu rozwoju, technologia skanowania wewnątrzustnego ma szerokie wskazania do

patient comfort, shortened treatment time and a quality on par with conventional workflow.⁵⁻⁸ However, some studies suggest that patient comfort and preferences may vary.⁹ Still, there is no consensus in literature on scanners accuracy. Some studies suggest that with regard to trueness and precision digital scans are equal or even better than conventional impressions.^{10,11} However, there are also opposite reviews suggesting that IOS is not a preferred method for long-span restorations based on full-arch implant rehabilitation cases.^{5,12,13} These confronting results of the latter studies may be due to the complex characteristic of the operating field that the oral cavity is. To understand these issues, it is important to note that scanners stitch acquired images using the best-fit algorithm. The quality of this process vastly relies on geometry characteristics of scanned object. In the case of occlusal surfaces, which present complex architecture, the stitching of subsequent images can be highly precise, unlike areas of shiny mucosa which have little to zero geometrical complexity resulting in stitching errors and lower accuracy.¹⁴ It is essential to continue evaluating scanners accuracy as new software iterations and scanners are released.¹⁵ Such a small thing as software update that improves stitching protocols can have a significant impact on scanning accuracy. There are other clinical factors that may affect scan accuracy such as the scanning technique, blood or saliva contamination.¹⁶ Many manufacturers are implementing machine learning and artificial intelligence (AI) protocols to their scanners software to improve stitching mechanisms and reduce unwanted artifacts (e.g. the operator's gloves or the patient's tongue). Since a scanning process heavily relies on the light beam being able not only to reach but also to reflect the scanned surface, geometry and especially depth of tooth preparation may play a role in the accuracy and the ability to scan.

stosowania, od uzupełnień pojedynczych zębów po prace pełnołukowe oraz uzupełnienia protetyczne wsparte na implantach.³⁻⁵ Inne zalety IOS wymieniane w literaturze to zwiększony komfort pacjenta w stosunku do wycisków konwencjonalnych oraz skrócony czas leczenia z zachowaniem jakości pracy na równi z konwencjonalnym protokołem wykonawstwa.⁵⁻⁸ Jednakże komfort i preferencje pacjenta są odczuciem subiektywnym i mogą się różnić, jak sugerują niektóre badania.⁹ W literaturze nie ma zgodności co do dokładności skanerów. Niektóre badania sugerują, że pod względem dokładności i precyzji skany cyfrowe są równe lub nawet lepsze od konwencjonalnych wycisków.^{10,11} W przeciwieństwie do tego, istnieją prace sugerujące, że IOS nie jest preferowaną metodą w wykonawstwie uzupełnień o dużej rozpiętości, szczególnie w przypadku rehabilitacji implantoprotetycznej bezzębia.^{5,12,13} Te sprzeczne wyniki badań mogą wynikać ze złożonej charakterystyki pola operacyjnego, jakim jest jama ustna. Aby zrozumieć te kwestie, należy wyjaśnić, że skanery łączą pojedyncze obrazy pozyskane w trakcie skanowania przy użyciu algorytmu najlepszego dopasowania (ang. stitching). Jakość tego procesu w dużej mierze zależy od charakterystyki geometrii skanowanego obiektu, szczególnie od stopnia jej skomplikowania. W przypadku powierzchni okluzyjnych, które mają złożoną architekturę, łączenie obrazów może być bardzo precyzyjne. W przeciwieństwie do tego, obszary odbijającej światło błony śluzowej mają niewielką lub zerową złożoność geometryczną powierzchni, co skutkuje błędami łączenia i mniejszą dokładnością.¹⁴ Istotne jest, aby kontynuować ocenę dokładności skanerów w miarę publikowania przez producentów nowych iteracji oprogramowania i skanerów.¹⁵ Pozornie mała aktualizacja oprogramowania, która poprawia algorytmy stitching, może mieć znaczący wpływ na dokładność skanowania. Istnieją inne czynniki kliniczne, które wpływać będą

Aim of the study

The aim of this study was to evaluate the trueness of eight different IOSs and one laboratory scanner against the reference scanner, in scanning a deep preparation on a full arch during procedures such as deep inlays or endocrowns. Trueness is defined by the International Organization for Standardization (ISO) as the amount of certain value deviation from a reference point or data set (Fig. 1). The higher the trueness, the more accurate rendition a scanner provides.¹⁷ This study compared a number of different scanners mimicking clinical situation of deep inlay type preparation on a printed 3D model. Considering previous statement about the shape and the depth of the preparations being a probable factor, a set of six standardized preparations was prepared. The null hypothesis was that the depth would affect trueness of each scanner independently of the outline form, and that no significant differences would exist between scanners. The conclusions from this research could help clinicians adapt the digital workflow to a specific clinical situation.

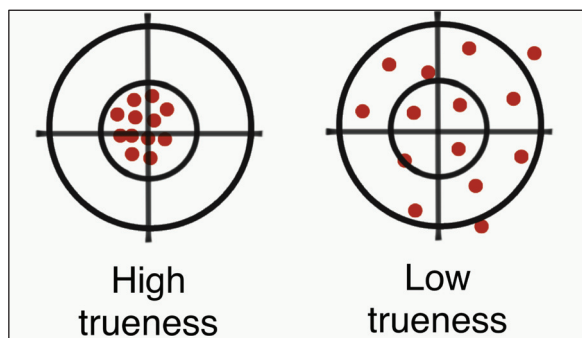


Fig. 1. Trueness parameter; examples of high and low trueness.

Ryc. 1. Parametr dokładności; przykłady wysokiej i niskiej dokładności.

Materials and methods

Study protocol

Base mandibular scan was taken with CS3600 (Carestream). The .stl file was then exported and edited in Meshmixer (Autodesk).

na dokładność uzyskanych skanów, takie jak technika skanowania, zanieczyszczenie pola operacyjnego krwią lub śliną, czy światło zewnętrzne.¹⁶ Wielu producentów wdraża protokoły uczenia maszynowego (ang. machine learning) i sztucznej inteligencji (AI) do oprogramowania swoich skanerów, aby ulepszyć mechanizmy łączenia obrazów i eliminować niepożądane artefakty (np. rękawiczki operatora lub język pacjenta). Ponieważ proces skanowania w dużym stopniu zależy od tego, czy wiązka światła jest w stanie nie tylko dotrzeć do skanowanej powierzchni, ale także się od niej odbić w celu rejestracji przez kamerę głowicy skanera, geometria, a zwłaszcza głębokość preparacji zęba, może odgrywać rolę w dokładności i zdolności skanowania.

Cel pracy

Celem tego badania była ocena dokładności 8 różnych IOS i 1 skanera laboratoryjnego w odniesieniu do skanera referencyjnego podczas skanowania głębokich preparacji na pełnym łuku symulując wykonawstwo klinicznych procedur, takich jak głębokie wkłady koronowe lub endokorony. Dokładność jest definiowana przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną (ISO) jako wielkość odchylenia określonej wartości od punktu odniesienia lub zestawu danych (ryc. 1). Im wyższa jest dokładność, tym wierniejsze odwzorowanie zapewnia skaner.¹⁷ W niniejszym badaniu porównano wiele skanerów stomatologicznych w warunkach *in vitro* symulujących głębokie preparacje zębów pod wkład lub endokoronę na wydrukowanym modelu 3D. Biorąc pod uwagę fakt, że kształt i głębokość preparacji są prawdopodobnym czynnikiem mającym wpływ na dokładność skanowania, przygotowano zestaw 6 standaryzowanych preparacji. Hipoteza zerowa zakładała, że głębokość będzie miała wpływ na dokładność każdego skanera niezależnie od kształtu obrysu preparacji

Three standardized preparation outline forms for corresponding teeth were chosen: the second premolar – circular (L5, R5), the first molar – square (L6, R6) and the second molar – rectangular (L7, R7). Preparations on the left side of the mandible had a depth of 3.0 mm (L5, L6, L7) and 6.0 mm on the right side (R5, R6, R7) (Tab. 1, 2). This resulted in a total of six different preparations (Fig. 2). The model was printed on a 3D printer (Formlabs 2, formlabs) with dental model resin (Formlabs Dental Model v2, formlabs). Eight IOSs and one laboratory scanner were included in this study to scan the printed mandible model in a full-arch range. All scans were performed by one experienced operator in a standardized scan pattern proposed by *Latham et al.* Because scan strategy has an impact on accuracy of the scanning process and that every manufacturer suggests their own method, the authors of this study relied on literature regarding this topic. Scan pattern seems to have lesser impact when scanning partial arch such as sextans however, the scan pattern has been shown to influence accuracy in complete arch scans.^{16,18} To standardize this parameter in the present study we chose to use one scan pattern that proved to provide best accuracy according to the study by *Latham et al.*¹⁶ (Fig. 3). The model was scanned multiple times, but not less than three, until achieving clinically satisfactory scan results evaluated by an experienced clinician.

Dental scanners compared in this study were CS3600 (CS Imaging 7.0.32.0.d2, Carestream), 3Shape TRIOS4 + HighResolution mode (18.1.2, 3Shape), Virtuo Vivo (DWOS Chairside 3.1.0.598, Dental Wings), 7Series (DWOS 9.0, Dental Wings), Medit i500 (Medit Link v2.1.2 Build 364, Medit), iTero Element (1.9.3.3, iTero), Omnicam (CEREC 4.6.1.152739, Dentsply Sirona), Primescan (CEREC SW 5.1.0.190461, Dentsply Sirona), Emerald (Romexis 5.3.4.39, Planmeca). The only scanner that failed to provide satisfactory acquisition despite multiple

i, że nie będzie istotnych różnic pomiędzy skanerami. Wnioski z tego badania mogą pomóc klinicytom w dostosowaniu cyfrowego protokołu pracy do konkretnej sytuacji klinicznej.

Materiały i metody

Protokół badania

Skan bazowy żuchwy został wykonany za pomocą CS3600 (Carestream). Plik stl został wyeksportowany do edycji w programie Meshmixer (Autodesk). Wykonano trzy standardowe kształty preparacji dla wybranych zębów: drugi ząb przedtrzonowy – obrys okrągły (L5, R5), pierwszy ząb trzonowy – kwadratowy (L6, R6) i drugi ząb trzonowy – prostokątny (L7, R7). Preparacje po lewej stronie żuchwy miały głębokość 3,0 mm (L5, L6, L7), a po prawej 6,0 mm (R5, R6, R7) (tab. 1, 2). Uzyskano w sumie 6 różnych preparacji (ryc. 2). Model został wydrukowany na drukarce 3D (Formlabs 2, formlabs) przy użyciu żywicy dentystycznej (Formlabs Dental Model v2, formlabs). W badaniu uwzględniono osiem skanerów stomatologicznych i jeden skaner laboratoryjny, którymi zeskanowano wcześniej przygotowany model żuchwy. Wszystkie skany zostały wykonane przez jednego doświadczonego operatora w standardowym schemacie skanowania. Ponieważ technika skanowania może mieć wpływ na dokładność, a każdy producent sugeruje inną metodę, w obecnej pracy oparto się na doniesieniach literaturowych. Technika skanowania wydaje się mieć mniejszy wpływ podczas skanowania jedynie fragmentów łuków zębowych, takich jak sekstans czy ćwiartka, jednak wykazano, że technika skanowania wpływa istotnie na dokładność skanowania pełnych łuków.^{16,18} Aby ustandaryzować ten parametr w obecnym badaniu, zdecydowano się użyć jednego wzorca skanowania, który okazał się zapewniać najlepszą dokładność zgodnie z artykułem *Lathama* i wsp.¹⁶ (ryc. 3). Model był skanowany wielokrotnie, ale nie mniej niż

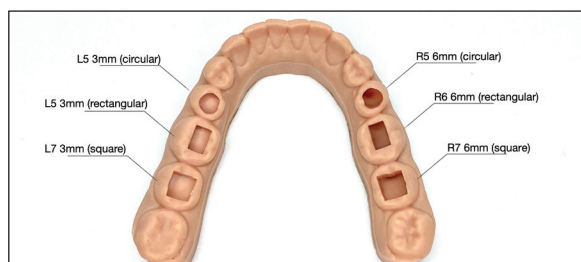


Fig. 2. Mandible model and inlay preparations design.

Ryc. 2. Model żuchwy i projekt preparacji.

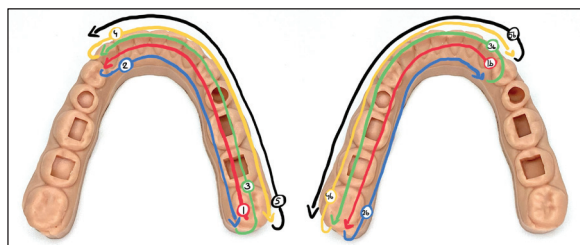


Fig. 3. Scan technique 2 starts on most distal molar on patient's left side at 45-degree angle and continues at that angle until contralateral first premolar is captured, then returns to starting molar at 90-degree lingual angle. Then, proceed to contralateral canine from occlusal angle. User will rotate to facial at 45-degree angle back to start molar and then back to contralateral canine at 90-degree facial angle. Pattern is repeated with start tooth set to canine on patient's left side.

Ryc. 3. Technika skanowania: pierwszy etap polega na rejestracji łuku od najbardziej dystalnego zęba trzonowego lewego do pierwszego zęba przedtrzonowego po drugiej stronie łuku skanując kolejno powierzchnie językowe pod kątem 45 i 90 stopni, powierzchnie okluzyjną oraz przedścionkową pod kątem 45 i 90 stopni. Następnie w drugim etapie sekwencja jest powtórzona w odcinku od kła strony lewej do ostatniego trzonowca strony prawej łuku zębowego.

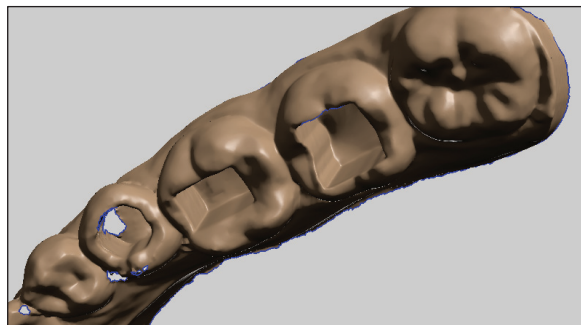


Fig. 4. Example of scan imperfections that require software patching (Emerald).

Ryc. 4. Przykład nie w pełni zeskanowanych obszarów, które wymagają uzupełnienia przez oprogramowanie skanera (Emerald).

3 razy, aż do uzyskania klinicznie zadowolających wyników skanowania ocenianych przez doświadczonego klinicystę.

Skanery stomatologiczne porównywane w tym badaniu to CS3600 (CS Imaging 7.0.32.0.d2, Carestream), 3Shape TRIOS4 + tryb wysokiej rozdzielczości HR (18.1.2, 3Shape), Virtuo Vivo (DWOS Chairside 3.1.0.598, Dental Wings), 7Series (DWOS 9.0, Dental Wings), Medit i500 (Medit Link v2.1.2 Build 364, Medit), iTero Element (1.9.3.3, iTero), Omnicam (CEREC 4.6.1.152739, Dentsply Sirona), Primescan (CEREC SW 5.1.0.190461, Dentsply Sirona), Emerald (Romexis 5.3.4.39, Planmeca). Jedynym skanerem, który nie zapewnił zadowolającej akwizycji modelu, pomimo wielu prób skanowania, był Emerald (Planmeca). Spośród 10 wykonanych skanów tym skanerem tylko 3 zostały zakwalifikowane do włączenia do tego badania (oznaczone jako Emerald 1, 2 i 3). Spośród uwzględnionych skanów wszystkie trzy posiadały niedoskonałości rejestracji obrazu w najgłębszych narożnikach preparacji, co skutkowało obecnością dziur na skanach, które musiały zostać uzupełnione przez wbudowane oprogramowanie w postprocessingu (z ang. obróbce) skanów (ryc. 4).

Skan referencyjny modelu żuchwy został wykonany za pomocą wysoce precyzyjnego skanera wzorcowego (Comet 6, ZEISS). Comet 6 jest wyposażony w kamerę o rozdzielczości 16 megapikseli i monochromatyczny czujnik CCD z certyfikatem dokładności $\pm 0,03$ mm. Aby zapewnić stabilność wymiarów modelu, wszystkie skany zostały wykonane w jednakowych warunkach (22°C i wilgotność względna 40-50%) i w krótkim, dwutygodniowym przedziale czasu. Wszystkie zarejestrowane skany zostały porównane pod kątem dokładności w protokole najlepszego dopasowania (ang. best-fit comparison) ze skanem wzorcowym (Comet 6, Zeiss) w oprogramowaniu metrologicznym (collin3D, Zeiss i GOM Inspect Professional 2019, GOM).

scan trials was Emerald (Planmeca). Of the ten scans taken, only three were qualified to be included in this study (marked as Emerald 1, 2 and 3). Among the included scans, all three of them show inability to scan the deepest corners of preparations that produced holes on scans that had to be patched by a built-in software in scan post-processing (Fig. 4).

Final scan of the mandible model was scanned with a highly precise benchmark scanner (Comet 6, ZEISS). Comet 6 is equipped with a 16 Megapixels camera and a monochromatic CCD sensor certified for $\pm 0,03$ mm accuracy. To ensure model dimension stability all scans were performed in set conditions (22°C and relative humidity 40-50%) and in short, less than two-week period. All registered scans were compared for a best-fit accuracy with the benchmark scan (Comet 6, Zeiss) in a digital software (collin3D, Zeiss and GOM Inspect Professional 2019, GOM).

Statistical Analysis

For statistical purposes five points of measurements were positioned on each preparation resulting in thirty different points for a single scan allowing for trueness assessment for every scanner in all six types of preparations. The points' locations were as follows: four outline points (#1-4) and one central point at the bottom of the preparation (#5) (Fig. 5). Of all the nine scanners in this study a total of twelve scans and 360 values were included for statistical examination. To compare the distribution of results obtained with different scanners, the median test and the Kruskal-Wallis ANOVA test were performed.

A statistical analysis for whole scan comparison taking all thirty points of measurement for each scan into account was also conducted. The null hypothesis H_0 was that the mean value of the measurements is zero against the alternative that it is significantly different from zero. The empirical distributions of the obtained results

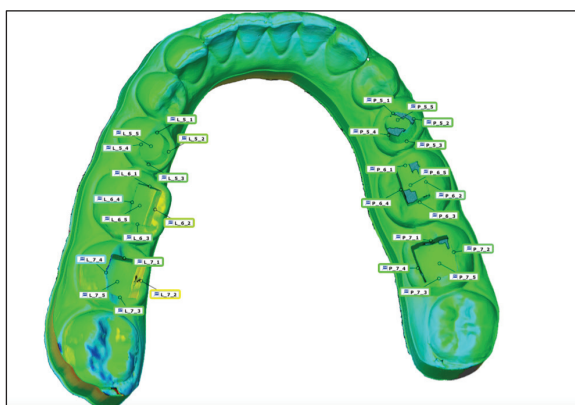


Fig. 5. Best-fit comparison points of measurement. TRIOS 4 scan superimposed on a reference benchmark scan obtained with Comet 6 scanner.

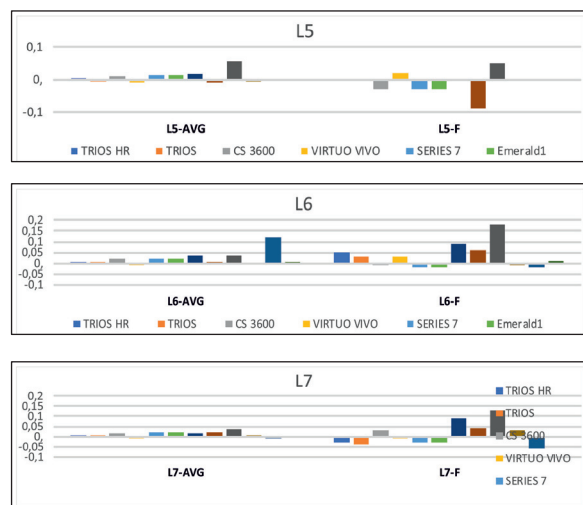
Ryc. 5. Punkty referencyjne dla porównania best-fit. Skan TRIOS 4 nałożony na referencyjny skan wykonany skanerem Comet 6 (Zeiss).

Analiza statystyczna

Do celów statystycznych na każdym preparacie umieszczono pięć punktów pomiarowych (tzw. flag), co dało łącznie 30 różnych punktów dla pojedynczego skanu, umożliwiając ocenę dokładności każdego skanera we wszystkich sześciu rodzajach preparacji. Lokalizacje flag były następujące: 4 punkty obrysu (#1-4) i 1 punkt centralny w dnie preparacji (#5) (ryc. 5). Ze wszystkich 9 skanerów porównywanych w tym badaniu do analizy statystycznej uwzględniono łącznie 12 skanów i 360 wartości. Aby porównać rozkład wyników uzyskanych za pomocą różnych skanerów, przeprowadzono test mediany i test ANOVA Kruskala-Wallisa.

Przeprowadzono również analizę statystyczną dla porównania dokładności odwzorowania pełnego łuku, biorąc pod uwagę wszystkie 30 punktów pomiarowych dla każdego skanu. Hipoteza zerowa H_0 zakładała, że średnia wartość pomiarów jest równa zero, a hipoteza alternatywna, że jest istotnie różna od zera. Rozkłady empiryczne uzyskanych wyników zostały przeanalizowane i porównane z wynikami uzyskanymi dla skanera Zeiss (przyjętego jako model referencyjny). W analizie

Table 1. Trueness parameter for the left mandible preparations L5-L7 [mm]



were analysed and compared with the results obtained for the Zeiss scanner (adopted as the reference model). In statistical analysis the following analytic tools were applied:

- measures of descriptive statistics,
- Shapiro-Wilk normality test,
- agglomerative clustering,
- t-Student test for single mean,
- confidence intervals for mean and standard deviation.

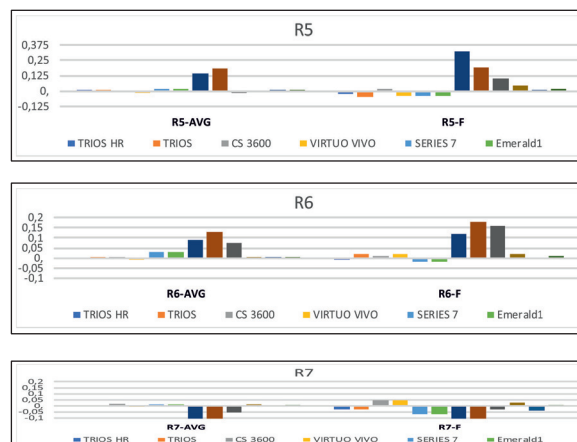
Results

Trueness

Trueness is defined by the International Organization for Standardization (ISO) as the amount of certain value deviation from a reference point or data set. The higher the trueness is, the more accurate rendition a scanner provides.¹⁷ We compared deviation separately for each individual preparation (L5, L6, L7, R5, R6, R7). For a single preparation we compared average deviation for outline points (AVG, #1-4) and for the central point at the bottom of the preparation (FLOOR, #5).

The results obtained for Emerald scanners (especially for scans no. 2 and 3) are

Table 2. Trueness parameter for the right mandible preparations R5-R7 [mm]



statystycznej zastosowano następujące narzędzia statystyczne:

- statystyka opisowa,
- test normalności Shapiro-Wilka,
- grupowanie aglomeracyjne,
- test t-Studenta dla pojedynczej średniej,
- przedziały ufności dla średniej i odchylenia standardowego.

Wyniki

Dokładność

Dokładność jest definiowana przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną (ISO) jako wielkość pewnego odchylenia wartości od punktu odniesienia lub zestawu danych. Im wyższa jest dokładność, tym wierniejsze odwzorowanie zapewnia skaner.¹⁷ Porównano odchylenia oddzielnie dla każdej preparacji (L5, L6, L7, R5, R6, R7). Dla pojedynczej preparacji porównano średnie odchylenie dla punktów obrysu (AVG, #1-4) i dla centralnego punktu w dnie (FLOOR, #5).

Wyniki uzyskane dla obrazów zarejestrowanych skanerem Emerald (szczególnie dla skanów nr 2 i 3) charakteryzują się najgorszą dokładnością. Skaner iTero również

characterized by the worst accuracy (the worst trueness). The iTero scanner also has a poor level of the trueness parameter. In the case of other scanners, the results do not differ from the reference level (0) by more than 100 μm . Concluding, in the case of the remaining scanners, neither the depth nor the shape of the preparation played a significant role.

One-way ANOVA Kruskal-Wallis Test

To compare the distribution of results obtained with different scanners, the median test and the Kruskal-Wallis ANOVA test were performed. The significance level $\alpha = 0.05$ was assumed. The lowest p-value for the median test was 0.7084 (R6), and for the Kruskal-Wallis test 0.9650 (R7). The results are presented separately for L5, L6, L7, P5, P6 and P7, considering the measurements made on the tooth pe-

Table 3. Results of the median test and the Kruskal-Wallis ANOVA test for all preparations

Preparation	Median test p-value	Kruskal-Wallis ANOVA test p-value
L5	0.8950	0.9925
L6	0.9292	0.9765
L7	0.9994	1.000
R5	0.9942	0.9820
R6	0.7084	0.9934
R7	0.9863	0.9650

rimeter (Tab. 3, Fig. 6).

Descriptive statistics

In Tab. 4 results of descriptive statistics, namely arithmetic mean, median, range and standard deviation are presented for all the scanners. Ideal scan accuracy results (compared to the Comet 6 scanner, which is the benchmark of the research) should give the arithmetic mean and median value equal to 0 and the

charakteryzował się niskim poziomem dokładności w stosunku do pozostałych skanerów, których wyniki nie odbiegają od poziomu referencyjnego (0) o więcej niż 100 μm . Podsumowując, w przypadku pozostałych skanerów ani głębokość, ani kształt preparacji porównywane w niniejszej pracy nie miały istotnego statystycznie wpływu na dokładność uzyskanych skanów.

Jednokierunkowy test ANOVA Kruskala-Wallisa

Aby porównać rozkład wyników uzyskanych za pomocą różnych skanerów, przeprowadzono test mediany i test ANOVA Kruskala-Wallisa. Przyjęto poziom istotności $\alpha = 0,05$. Najniższa wartość p dla testu mediany wynosi 0,7084 (R6), a dla testu Kruskala-Wallisa 0,9650 (R7). Wyniki przedstawiono oddzielnie dla L5, L6, L7, P5, P6 i P7, biorąc pod uwagę pomiary wykonane na granicy preparacji (tab. 3, ryc. 6).

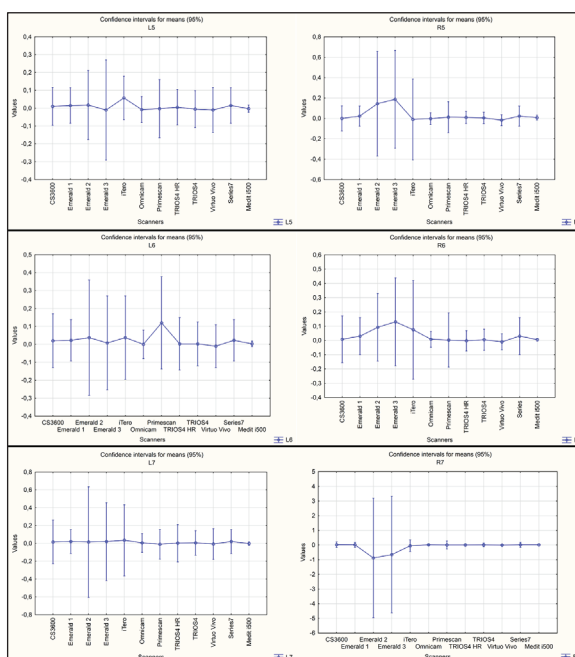


Fig. 6. Means and 95%-confidence intervals for means (L5-7, R5-7).

Ryc. 6. Przedziały ufności (95%) dla średnich (L5-7, R5-7).

smallest possible standard deviation and range. According to descriptive measures these parameters are the best for the following scanners: TRIOS4, Omnicam and Medit i500 (Tab. 4). However, in statistical tests for means the relationship between the mean and the standard deviation is very important.

Shapiro-Wilk's normality tests

The distribution of the results of deviations from the reference scan (Zeiss Comet 6 scanner) should be normal. A significant deviation from normality may be the result of a systematic error of measurements (scanning). For the Shapiro-Wilk's normality test¹⁹⁻²² the significance level of 0.05 was accepted. The distributions of the results obtained for the scanners Series7, Emerald 1, Emerald 2, Emerald 3 and Medit i500 do not fit the normal distribution (Tab. 4). The best results of the normality test were obtained for the scanners CS 3600, Virtuo Vivo and TRIOS4 HR.

Statystyki opisowe

W tabeli 4 przedstawiono wyniki statystyk opisowych, a mianowicie średnią arytmetyczną, medianę, zakres i odchylenie standardowe dla wszystkich skanerów. Idealne wyniki dokładności skanowania (w porównaniu do skanera Comet 6, który jest punktem odniesienia badań) powinny dawać średnią arytmetyczną i medianę równą 0 oraz jak najmniejsze odchylenie standardowe i zakres. Według miar opisowych parametry te są najlepsze dla następujących skanerów: TRIOS4, Omnicam i Medit i500 (tab. 4). Jednak w testach statystycznych dla średnich bardzo ważna jest relacja między średnią a odchyleniem standardowym.

Testy normalności Shapiro-Wilka

Rozkład wyników odchyleń od skanu referencyjnego (skaner Zeiss Comet6) powinien być normalny. Znaczące odchylenie od normalności może być wynikiem systematycznego

Table 4. Descriptive measures and normality test for data obtained from 12 twelve scanners

Scanner	Mean	Median	Range	Standard deviation	Shapiro-Wilk normality test p-value
TRIOS HR	0.001333	-0.005000	0.310000	0.062463	0.66595
TRIOS	0.000000	0.000000	0.190000	0.054646	0.28272
CS 3600	0.011667	0.015000	0.320000	0.084367	0.77045
Virtuo Vivo	-0.005667	-0.005000	0.210000	0.055565	0.72602
Series 7	0.009333	-0.015000	0.240000	0.067514	0.03044
Emerald1	0.009333	-0.015000	0.240000	0.067514	0.03044
Emerald2	-0.037586	0.040000	3.280000	0.567429	0.00000
Emerald3	-0.016897	0.060000	3.060000	0.518901	0.00000
iTero	0.043571	0.045000	0.530000	0.149622	0.62592
Omnicam	0.005667	0.000000	0.140000	0.038478	0.33452
Primescan	0.012667	0.005000	0.490000	0.111260	0.51412
Medit i500	0.004333	0.005000	0.040000	0.010400	0.00397

Cluster analysis (clustering)

Using the cluster analysis technique the level of similarity between the results obtained with the use of different scanners was analysed. Applying the agglomerative clustering for the Euclidean distance and the single linkage method (see e.g.²³), the results obtained show that TRIOS4, Series7, Emerald 1, Virtuo Vivo, Omnicam, Medit i500 and CS3600 acquired images of similar accuracy. According to the Euclidean distance and the single linkage method the most different are results obtained for iTero, Emerald 2 and Emerald 3 (Fig. 7).

t-Student tests for single means

At the significance level 0.05, we verify the null hypothesis H_0 stating that the mean value of the measurements is zero against the alternative that it is significantly different from zero. We use t-Student's test for a single mean.¹⁹⁻²² We reject the null hypothesis for Medit i500. Moreover, for the iTero scanner the p-value is very small (despite the null hypothesis is accepted).

Confidence intervals for means and standard deviations

In Tab. 5 left and right ends of confidence intervals for means and standard deviations for

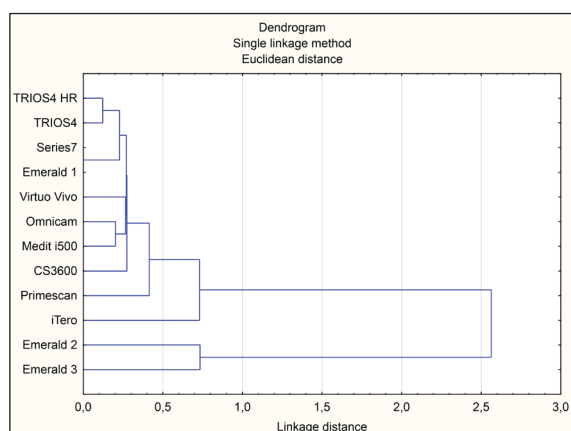


Fig. 7. Dendrogram of clustering process for Euclidean distance and the single linkage method.

Ryc. 7. Dendrogram grupowania aglomeracyjnego dla odległości euklidesowej i metody pojedynczego powiązania.

błędu pomiarów (skanowania). Dla testu normalności Shapiro-Wilka¹⁹⁻²² przyjęto poziom istotności $\alpha = 0,05$. Rozkłady wyników uzyskanych dla skanerów Series7, Emerald 1, Emerald 2, Emerald 3 i Medit i500 nie mają rozkładu normalnego (tab. 4). Najlepsze wyniki testu normalności uzyskano dla skanerów CS 3600, Virtuo Vivo i TRIOS4 HR.

Grupowanie hierarchiczne (aglomeracyjne)

Za pomocą techniki analizy klastrowania hierarchicznego przeanalizowano poziom podobieństwa między wynikami uzyskanymi przy użyciu różnych skanerów. Stosując aglomeracyjne grupowanie dla odległości euklidesowej i metody pojedynczego powiązania (patrz np.²³) uzyskano wyniki wskazujące, że TRIOS4, Series7, Emerald 1, Virtuo Vivo, Omnicam, Medit i500 i CS3600 uzyskały obraz o podobnej dokładności. Najbardziej różne są wyniki uzyskane dla iTero, Emerald 2 i Emerald 3 (ryc. 7).

Testy t-Studenta dla pojedynczych średnich

Na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ weryfikuje się hipotezę zerową H_0 mówiącą, że średnia wartość pomiarów wynosi zero, a hipoteza alternatywna, że jest ona istotnie różna od zera. Zastosowano test t-Studenta dla pojedynczej średniej.¹⁹⁻²² Odrzucono hipotezę zerową dla Medit i500. Ponadto, dla skanera iTero p-value jest bardzo mała (pomimo przyjęcia hipotezy zerowej).

Przedziały ufności dla średnich i odchyłeń standardowych

W tabeli 5 przedstawiono lewy i prawy koniec przedziałów ufności dla średnich i odchyłeń standardowych dla wszystkich skanerów.¹⁹⁻²² Przyjęto poziom ufności 0,95 (95%). Biorąc pod uwagę przedziały ufności dla wyników uzyskanych dla poszczególnych skanerów i ich rozpiętości, wyniki uzyskane dla Medit i500, TRIOS4 HR, TRIOS4 i Omnicam

all scanners are presented.¹⁹⁻²² The confidence level 0.95 (95%) was assumed. Considering the confidence intervals for the results obtained for individual scanners and their spans, the results obtained for Medit i500, TRIOS4 HR, TRIOS4 and Omnicam are the best. The worst results of the interval estimation were obtained for Emerald 2 and Emerald 3.

Spread analysis for the preparation depth

A dispersion analysis for the results obtained with all scanners was performed. We included all three trials for the Emerald scanner in this analysis. It concluded that there was a clearly visible greater range and standard deviation for scanning 6.0 mm (compared to 3.0 mm) deep preparations in the case of scanning attempts Emerald 1 and 2 (less visible difference in the case of scan # 3) and for iTero scanner. This, of course, translates into wider confidence intervals for these samples, i.e. a greater error in estimating the mean value. Other scanners compared (TRIOS, TRIOS HR, CS3600, Series 7, Omnicam, Primescan, Medit i500) yielded similar results in 6 mm deep preparations. In 3

są najlepsze. Najgorsze wyniki uzyskały obrazy skanów Emerald numer 2 i 3.

Analiza rozrzutu dla głębokości preparacji

Przeprowadzono analizę rozproszenia wyników uzyskanych dla wszystkich skanerów. W analizie tej uwzględniono wszystkie trzy próby dla skanera Emerald. Stwierdzono, że istnieje wyraźnie widoczny większy zakres i odchylenie standardowe dla skanowania preparacji o głębokości 6,0 mm (w porównaniu do 3,0 mm) w przypadku skanowania skanerem Emerald numer 1 i 2 (mniej widoczna różnica w przypadku skanowania numer 3) oraz dla skanera iTero. Przekłada się to na szersze przedziały ufności dla tych prób, czyli większy błąd w szacowaniu wartości średniej. Inne porównywane skanery (TRIOS, TRIOS HR, CS3600, Series 7, Omnicam, Primescan, Medit i500) osiągnęły podobne wyniki w preparacjach o głębokości 6 mm. W preparacjach 3 mm Series 7 i Medit i500 charakteryzują się najmniejszym błędem standardowym i odchyleniem standardowym. Powyższe wyniki zostały dodatkowo zwizualizowane na tzw. wykresach ramka i wąsy (ryc. 8 i 9).

Table 5. 95-percent Confidence confidence intervals for means and standard deviations

Scanner	-95% Mean	+95% Mean	-95% Standard deviation	+95% Standard deviation
TRIOS HR	-0.021991	0.024657	0.049746	0.083970
TRIOS	-0.020405	0.020405	0.043521	0.073462
CS 3600	-0.019837	0.043170	0.067191	0.113416
Virtuo Vivo	-0.026415	0.015082	0.044252	0.074697
Series 7	-0.015877	0.034544	0.053769	0.090760
Emerald1	-0.015877	0.034544	0.053769	0.090760
Emerald2	-0.253425	0.178252	0.450300	0.767421
Emerald3	-0.214276	0.180483	0.411789	0.701788
iTero	-0.014446	0.101589	0.118294	0.203656
Omnicam	-0.008701	0.020035	0.030644	0.051727
Primescan	-0.028879	0.054212	0.088608	0.149569
Medit i500	0.000450	0.008217	0.008283	0.013981

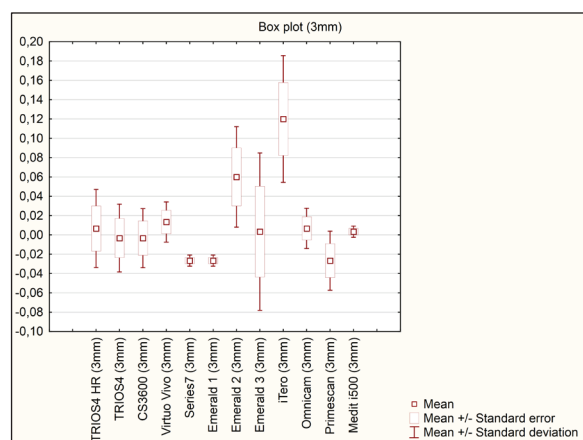


Fig. 8. Box chart for all scanners at 3mm-deep preparations.

Ryc. 8. Analiza rozrzutu wyników na wykresie pudełkowym dla wszystkich skanerów przy preparacjach o głębokości 3 mm.

mm preparations Seires 7, and Medit i500 are characterized with the smallest standard error and standard deviation. The above results were additionally visualized on the so-called box-and-whisker plots (Figs. 8 and 9).

Discussion

Considering all the performed measurements, the basic measures of descriptive statistics, the constructed confidence intervals and the trueness parameter indicate the best accuracy of the TRIOS4 and Omnicam scanners. The greatest dispersion of the results was observed in the case of the Emerald scans (Emerald 2nd and 3rd scan). Note that in the case of Emerald scanner, the hypothesis about the normality of the distributions of deviations from level 0 was also very clearly rejected. This may indicate the presence of some systematic error in the measurements performed. In general, the results obtained for the Emerald and iTero scanner differ most from the rest. The test hypothesis with a null mean value of the measurement was accepted with the highest p-value level for the TRIOS4 and TRIOS4 High Resolution (HR) scans.

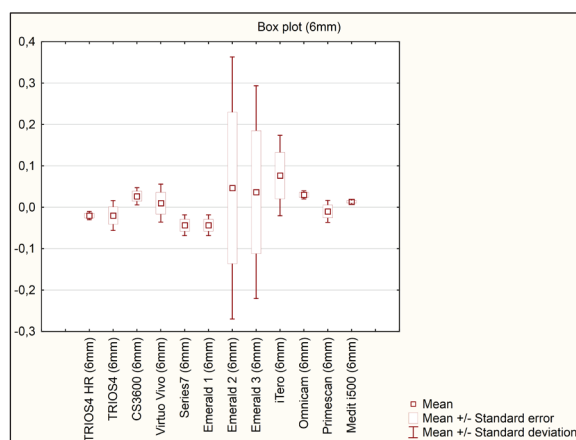


Fig. 9. Box chart for all scanners at 6mm-deep preparations.

Ryc. 9. Analiza rozrzutu wyników na wykresie pudełkowym dla wszystkich skanerów przy preparacjach o głębokości 6 mm.

Dyskusja

Biorąc pod uwagę wszystkie przeprowadzone pomiary, podstawowe metody statystyki opisowej, przedziały ufności oraz parametr dokładności, wskazano na najlepszą dokładność skanerów TRIOS4 i Omnicam. Największy rozrzut wyników zaobserwowano w przypadku skanów Emerald (2 i 3 skan). Warto zauważyć, że w przypadku skanera Emerald hipoteza o normalności rozkładów odchyleń od poziomu 0 również została bardzo wyraźnie odrzucona. Może to wskazywać na obecność pewnego błędu systematycznego w przeprowadzonych pomiarach. Podsumowując, wyniki uzyskane dla skanera Emerald i iTero najbardziej różnią się od pozostałych.

W przypadku wszystkich skanerów, z wyjątkiem Emerald i iTero, pierwsza hipoteza zero została przyjęta. Najwyższy poziom p-value uzyskano dla skanów TRIOS4 i TRIOS4 High Resolution (HR). Ani głębokość, ani kształt obrysu preparacji nie wpłynęły znacząco na dokładność w przypadku wszystkich skanerów oprócz Emerald i iTero. W przypadku skanerów Emerald i iTero głębokość preparacji istotnie wpływała na parametr prawdziwości. Biorąc to

For all the scanners, except Emerald and iTero, the first null hypothesis was accepted. Neither the depth nor the outline shape of the preparation did significantly affect trueness in all scanners besides Emerald and iTero. For Emerald and iTero scanner null hypothesis was rejected. The depth of preparations affected the trueness parameter significantly. Taking that into considerations we reject the second null hypothesis - the results among scanners varied. Every scanner compared in this study was able to acquire full image of the bottom of the preparation besides Emerald. In the case of this scanner software patching of unscanned areas had to be applied. The regions mostly affected by that were bottom corners of the preparations, which are clinically crucial in deep preparations. These patched regions resulted in generating more oblique shapes that would compromise the fit of the final restoration.

In the case of deep preparations IOSs show similar accuracy to the laboratory scanner (Series 7, Dental Wings) compared in this study. The laboratory scanner showed very consistent results (12.5-40.0 μm) in each preparation besides outlying rectangular 6.0 mm deep preparation for which trueness was 70.0 μm at the bottom point of the preparation. It also had less standard error in 3 mm preparations than IOSs, as shown on the box plot chart (Fig. 8). The outlying and disperse results obtained for Emerald and iTero scanner may suggest the need for further software or hardware development. Most of the scanners have a variety of tip designs and are a subject of constant update regarding its software. iTero scanner was formerly created for orthodontic purposes and its software capabilities may be lesser than that of those primarily “made for prosthodontics” scanners. With iTero scanner results are acceptable for the outline shape but may exceed desired trueness of 100.0 μm for the bottom of the preparation (100.0 – 180.0 μm). Considering software and hardware versions available at the

pod uwagę, odrzucając drugą hipotezę zerową - wyniki między skanerami były różne. Każdy ze skanerów porównywanych w tym badaniu był w stanie uzyskać pełny obraz dna preparacji oprócz Emerald. W przypadku tego skanera konieczne było zastosowanie automatycznego uzupełnienia nie doskanowanych obszarów przez oprogramowanie skanera. Obszary, na które miało to największy wpływ, to dolne rogi preparacji w miejscach łączenia ścian bocznych z dnem, które mają kluczowe znaczenie kliniczne w wykonawstwie uzupełnień, takich jak rozległe wkłady czy endokorony. W efekcie postprocessingu, te obszary uzupełnione przez oprogramowanie cechował brak ostrokonturowości i obły kształt, które mogłyby skutkować brakiem możliwości osadzenia ostatecznej odbudowy.

W przypadku głębokich preparacji IOS wykazują podobną dokładność do skanera laboratoryjnego (Series7, Dental Wings) porównywanego w tym badaniu. Skaner laboratoryjny wykazał bardzo jednorodne wyniki (12,5-40,0 μm) w każdej preparacji, z wyjątkiem prostokątnej preparacji o głębokości 6,0 mm, dla której dokładność wynosiła 70,0 μm w punkcie na dnie preparacji. Uzyskał również mniejszy błąd standardowy w preparacjach o głębokości 3 mm niż skanery gabinetowe, co pokazano na wykresie (ryc. 8). Odstające i rozproszone wyniki uzyskane dla skanera Emerald i iTero mogą sugerować potrzebę dalszego rozwoju oprogramowania lub sprzętu. Większość skanerów różni się pod kątem konstrukcji końcówek i podlega ciągłej aktualizacji oprogramowania. Skaner iTero został stworzony do celów ortodontycznych, a jego oprogramowanie może w mniejszym zakresie uwzględniać rozwiązania protetyczne, niż w przypadku skanerów “stworzonych dla protetyki”. W przypadku skanera iTero wyniki są akceptowalne dla obrysu preparacji, ale mogą przekraczać pożądaną dokładność 100,0 μm dla dna preparacji (100,0 - 180,0 μm). Biorąc pod uwagę wersje

time of this study we conclude that all of scanners, besides Emerald and iTero, are precise and capable of scanning deep inlay or endocrown preparations.

Conclusions

All scanners, except Emerald and iTero, showed similar results and capability to perform clinical scans of deep preparations. No significant differences were found for any of the compared scanners and neither shape nor depth, regarding preparation design, showed to impact scan accuracy suggesting that most scanners compared in this study can perform well in typical clinical situations. The highest trueness parameter was shown with TRIOS and Omnicam scanners. Obtained results suggest that the laboratory scanner showed high consistency of results with regard to the trueness parameter. In the case of deep preparation tested in this study IOSs show similar accuracy to the laboratory scanner included in this comparison.

oprogramowania i sprzętu dostępne w czasie tego badania, należy stwierdzić, że wszystkie skanery oprócz Emerald i iTero cechuje wystarczająca dokładności i są zdolne do skanowania głębokich preparacji pod wkłady lub endokorony.

Wnioski

1. Wszystkie skanery, z wyjątkiem Emerald i iTero, wykazały podobne wyniki dokładności i zdolność do skanowania głębokich preparacji typu inlay/endokorona. Nie stwierdzono znaczących różnic statystycznych dla żadnego z porównywanych skanerów.
2. W odniesieniu do zasięgu preparacji, ani kształt, ani głębokość, nie wykazały wpływu na dokładność skanowania, co sugeruje, że większość skanerów porównywanych w tym badaniu może dobrze sprawdzać się w typowych sytuacjach klinicznych.
3. Najwyższy parametr dokładności otrzymano dla skanerów TRIOS i Omnicam.
4. Uzyskane wyniki sugerują, że skaner laboratoryjny wykazał wysoką powtarzalność wyników w odniesieniu do parametru dokładności.
5. W przypadku głębokich preparacji testowane skanery gabinetowe wykazują podobną dokładność do skanera laboratoryjnego uwzględnionego w tym badaniu.

References / Piśmiennictwo

1. *Mörmann WH*: Ewolucja systemu CEREC. *J Am Dent Assoc* 2006. doi: org/10.14219/jada.archive.2006.0398
2. *Spagnuolo G, Sorrentino R*: The Role of Digital Devices in Dentistry: Trendy kliniczne i dowody naukowe. *J Clin Med* 2020. doi: org/10.3390/jcm9061692
3. *Lim JH, Park JM, Kim M, Heo SJ, Myung JY*: Comparison of digital intraoral scanner reproducibility and image trueness considering repetitive experience. *J Prosthet Dent* 2018. doi: org/10.1016/j.prosdent.2017.05.002
4. *Pesce P, Pera F, Setti P, Menini M*: Precision and Accuracy of a Digital Impression Scanner in Full-Arch Implant Rehabilitation. *Int J Prosthodont* 2018. doi: org/10.11607/ijp.5535

5. Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, Logozzo S: Intraoral scanners in dentistry: A review of the current literature. *BMC Oral Health* 2017. doi: org/10.1186/s12903-017-0442-x
6. Joda T, Lenherr P, Dedem P, Kovaltschuk I, Bragger U, Zitzmann NU: Time efficiency, difficulty, and operator's preference comparing digital and conventional implant impressions: a randomized controlled trial. *Clin Oral Implants Res* 2017. doi: org/10.1111/clr.12982
7. Haddadi Y, Bahrami G, Isidor F: Evaluation of Operating Time and Patient Perception Using Conventional Impression Taking and Intraoral Scanning for Crown Manufacture: A Split-mouth, Randomized Clinical Study. *Int J Prosthodont* 2018. doi: org/10.11607/ijp.5405
8. Gallardo YR, Bohner L, Tortamano P, Pigozzo MN, Laganá DC, Sesma N: Patient outcomes and procedure working time for digital versus conventional impressions: A systematic review. *J Prosthet Dent* 2018. doi: org/10.1016/j.prosdent.2017.07.007
9. Grünheid T, McCarthy SD, Larson BE: Clinical use of a direct chairside oral scanner: An assessment of accuracy, time, and patient acceptance. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2014. doi: org/10.1016/j.ajodo.2014.07.023
10. Takeuchi Y, Koizumi H, Furuchi M, Sato Y, Ohkubo C, Matsumura H: Use of digital impression systems with intraoral scanners for fabricating restorations and fixed dental prostheses. *J Oral Sci* 2018. doi: org/10.2334/josnusd.17-0444
11. Sim JY, Jang Y, Kim WC, Kim HY, Lee DH, Kim JH: Comparing the accuracy (trueness and precision) of models of fixed dental prostheses fabricated by digital and conventional workflows. *J Prosthodont Res* 2019. doi: org/10.1016/j.jpjor.2018.02.002
12. Amin S, Weber HP, Finkelman M, El Rafie K, Kudara Y, Papaspyridakos P: Digital vs. conventional full-arch implant impressions: a comparative study. *Clin Oral Implants Res* 2017. doi: org/10.1111/clr.12994
13. Ahlholm P, Sipilä K, Vallittu P, Jakonen M, Kotiranta U: Digital Versus Conventional Impressions in Fixed Prosthodontics: A Review. *J Prosthodont* (2018). doi: org/10.1111/jopr.12527
14. Braian M, Wennerberg A: Trueness and precision of 5 intraoral scanners for scanning edentulous and dentate complete-arch mandibular casts: A comparative in vitro study. *J Prosthet Dent* 2019. doi: org/10.1016/j.prosdent.2018.10.007
15. Goracci C, Franchi L, Vichi A, Ferrari M: Accuracy, reliability, and efficiency of intraoral scanners for full-arch impressions: A systematic review of the clinical evidence. *Eur J Orthod* 2016. doi: org/10.1093/ejo/cjv077
16. Latham J, Ludlow M, Mennito A, Kelly A, Evans Z, Renne W: Effect of scan pattern on complete-arch scans with 4 digital scanners. *J Prosthet Dent* 2020. doi: org/10.1016/j.prosdent.2019.02.008
17. Mennito AS, Evans ZP, Lauer AW, Patel RB, Ludlow ME, Renne WG: Evaluation of the effect scan pattern has on the trueness and precision of six intraoral digital impression systems. *J Esthet Restor Dent* 2018. doi: org/10.1111/jerd.12371
18. Abduo J, Bennamoun M, Tennant M, McGeachie J: Impact of digital prosthodontic planning on dental esthetics: Analiza biometryczna parametrów estetycznych. *J Prosthet Dent* 2016. doi: org/10.1016/j.prosdent.2015.07.005
19. Dekking FM, Kraaikamp C, Lopuhaä HP, Meester LE: *A Modern Introduction to Probability and Statistics*. first ed., Springer, London 2005.
20. Larsen RJ, Marx ML: *An Introduction to Mathematical Statistics and Its Applications*, wydanie piąte, Prentice Hall 2012.
21. Mann PS: *Introductory Statistics*, wyd. 7, Wiley&Sons Inc 2010.
22. Peck R, Olsen C, Devore JL: *Introduction to Statistics&Data Analysis*. Thomson Higher

Education 2008; wyd. 3.
23. *Sneath PHA, Sokal RR: Numerical Taxonomy,*
W.H. Freeman & Co. San Francisco 1973.

Zaakceptowano do druku: 9.12.2024 r.
Adres autorów: 41-800 Zabrze, pl. Traugutta 2.
© Zarząd Główny 2024.