

Streszczenie

Modele gipsowe są używane rutynowo w ortodoncji i w przypadku większych prac protetycznych obecnie tylko w niewielu ośrodkach zastępuje się je dokumentacją elektroniczną. W pracy tej dokonano porównania pomiarów wykonanych na modelach gipsowych oraz na modelach cyfrowych uzyskanych w oparciu o modele gipsowe. Nie znaleziono istotnej różnicy między pomiarami wykonanymi na modelach gipsowych i cyfrowych, a powtarzalność pomiarów przeprowadzonych na modelach cyfrowych była a w wielu przypadkach lepsza niż odpowiednich pomiarów na modelach gipsowych

Słowa kluczowe:

modele gipsowe, modele cyfrowe, wyciski alginatowe, modele wirtualne

Summary:

Stone models are routinely used in orthodontics, in case of bigger prosthetic work only in a few practices they are replaced by digital documentation. There is comparison of accuracy of measurements performed on stone models versus digital virtual models made from stone models. Virtual measurements performed on digital models display less variability than the corresponding measurements performed on the actual models.

Index words:

stone models, digital models, alginate impressions, virtual models

Informacje w formie zapisu cyfrowego zaczynają przyjmować dominującą pozycję w nowoczesnej stomatologii. Kartoteki prowadzi się rutynowo w formie komputerowej, zdjęcia cyfrowe wypierają tradycyjne (1), więc wydaje się rzeczą naturalną, że następnym krokiem będzie zastosowanie trójwymiarowych modeli cyfrowych do planowania leczenia. Dotyczyć to będzie w przyszłości planowania leczenia w ortodoncji oraz większych prac protetycznych. Ułatwi to nie tylko samo planowanie leczenia, lecz także przepływ informacji między personelem i pacjentami. Modele gipsowe wymagają miejsca do przechowywania, co niejednokrotnie stanowi problem dla ortodontów (rys. 1), ponieważ przepisy prawne nakazują przechowywanie dokumentacji lekarskiej tak długo, jak to „jest to uzasadnione” (2).

W USA modele cyfrowe zostały wprowadzone do użycia już w 1999 roku przez OrthoCAD™ (Cadent, Carlstadt, NJ, USA). Nie były one jednak osiągalne na rynku europejskim. W 2001 r. firma Geodim wprowadziła na rynek E - modele® (Geodim Corp., Chanhassen, MN, USA). Obie wspomniane

firmy produkowały modele oparte na wycisku silikonowym, a ich ograniczone rozpowszechnienie spowodowane było m.in. ceną zarówno wycisku, jak i modelu. W późniejszym okresie drogę do klinik ortodontycznych utworowały sobie liczne systemy modeli opartych na wycisku alginatowym. Ostatnio wykazano, że przesyłka drogą pocztową wycisku alginatowego nie wpływa na jakość uzyskanego modelu cyfrowego (3).

Modele cyfrowe mają następujące zalety w porównaniu z modelami gipsowymi:

1. Są natychmiast osiągalne na ekranie komputerowym, podczas gdy modele gipsowe trzeba najpierw odnaleźć w miejscu przechowywania.
2. Wymogi dotyczące miejsca przechowywania modeli gipsowych nie znajdują tutaj zastosowania.
3. Modele cyfrowe nie mogą zagiąć czy ulec zniszczeniu.
4. Można je przesyłać drogą elektroniczną.
5. Mogą być zastosowane w internetowych programach nauczania.

6. Jakość informacji dla pacjenta ulega polepszeniu.

7. Stomatolog i pacjent mogą śledzić zmiany zachodzące w zgryzie, co może stanowić czynnik motywujący do leczenia.

Istnieje jednak pytanie: Czy model cyfrowy jest wystarczająco precyzyjny, by zastąpić model gipsowy? Innymi słowy, czy pomiary, które można uzyskać na modelu cyfrowym, są porównywalne z pomiarami, które dotychczas uzyskiwano na modelach gipsowych?

Wcześniejsze badania wykazały, że modele cyfrowe mogą zastąpić modele gipsowe. Pomiary uzyskane przy pomocy techniki komputerowej są równie dokładne, jak pomiary wykonane na modelach gipsowych. Dlatego też modele oparte na technice komputerowej stanowią akceptowalną klinicznie alternatywę dla konwencjonalnych modeli gipsowych (4,5). Costalos i wsp. wykazali, że zmienność pomiarów pojedynczego badacza dla modeli cyfrowych była mniejsza niż w przypadku modeli gipsowych, lecz pomiary wykonane przez dwóch różnych badaczy różniły się dla tych dwóch rodzajów modeli (6). Fakt ten przypisano brakowi kalibracji, lecz inne sytuacje, takie jak obecność diastemy, nachylenia i rotacje zębów, lokalizacja punktów stycznych, a także różnice morfologiczne zębów, mogły wpłynąć na powtarzalność pomiarów (4). Quimby i wsp. potwierdzili, że różnice pomiędzy pomiarami przeprowadzonymi w oparciu o modele cyfrowe i konwencjonalne były małe i nieistotne klinicznie (7), podczas gdy Okunami i wsp., stosując kryteria Amerykańskiego Towarzystwa Ortodontycznego (AAO), znaleźli pojedyncze istotne różnice między modelami gipsowymi i cyfrowymi. Różnice te można było jednak przypisać zastosowanemu oprogramowaniu komputerowemu (8).

Ponieważ wszystkie wcześniejsze badania zostały wykonane przez doświadczonych specjalistów ortodontów, celem opisywanego badania stała się ocena powtarzalności pomiarów dla pojedynczego badacza oraz między badaczami, którymi są studenci stomatologii bez doświadczenia ortodontycznego.

Material i metody

W badaniu użyto modele badawcze 31 losowo wybranych pacjentów z Kliniki Ortodontji Wydziału Stomatologii w Aarhus. Badani byli typowymi pacjentami ortodontycznymi z różnym stopniem abrazyj, stłoczenia zębów i wad zgryzu. Modele gipsowe zostały wysłane do OrtoLab®, Częstochowa, Polska, gdzie opracowano modele cyfrowe (O3DM®). Zarejestrowanie zgryzu dla modeli cyfrowych przeprowadzono w ten sposób, że modele szczęki i zuchwy zostały najpierw zeskanowane oddzielnie, po czym łącznie wraz z nadesłanym kęskiem zgryzowym wykonanym w wosku lub silikonie. Modele szczęki i zuchwy zostały następnie automatycznie zestawione tak, że obydwa modele uzyskały wzajemnie właściwą pozycję. Po wzrokowej kon-

troli cyfrowych punktów zwarcia między zębami szczęki i zuchwy dokonano ewentualnie niewielkiej korekcji ustawienia zuchwy. Gotowe modele cyfrowe zostały pobrane ze strony internetowej O3DM®, a modele gipsowe zostały zwrócone do Wydziału Stomatologii w Aarhus.

Dwóch studentów stomatologii wykonało pomiary zgodnie z następującą procedurą:

- dwa zestawy pomiarów na modelach gipsowych w odstępie minimum 5 dni; użyto w tym celu cyfrowej suwmiarki (700 - 113 Mycal Lite™, Mitutoyo America Corp., Plumouth, MI) z dokładnością do 0,01 mm;

- dwa zestawy pomiarów na modelach cyfrowych w odstępie minimum 5 dni; wykonano je za pomocą oprogramowania komputerowego udostępnionego przez OrtoLab® (O3DM®, wersja 1.6.06) (rys. 2).

Zmierzono następujące parametry:

- meziodystalna szerokość zęba 1+, 3+ i 6+;
- odstęp pomiędzy kłami szczęki definiowany jako odstęp między szczytami guzków mierzony równolegle do płaszczyzny zgryzowej (przy bardzo nasilonej abrazyj wybrano punkt w środku płaszczyzny starcia);
- szerokość łuku zębowego górnego: odstęp między szczytami guzków policzkowych dystalnych zębów 6+6 (w przypadku braku pierwszych trzonowców wykonano pomiary między drugimi trzonowcami; nie wykonywano pomiaru, jeśli brakowało również tych ostatnich);
- długość łuku zębowego górnego: odstęp między stycznią do powierzchni wargowej zęba 1+ a powierzchnią dystalną zęba 6+ równolegle do płaszczyzny strzałkowej;
- nagryz poziomy: odstęp od brzegu siecznego zęba 1- do powierzchni wargowej zęba 1+ mierzony równolegle do płaszczyzny zgryzowej;
- nagryz pionowy: maksymalne nachodzenie zęba 1+ na ząb 1- mierzone pod kątem prostym do płaszczyzny zgryzowej.

W celu oceny powtarzalności pomiarów między badaczami obliczono dla każdego z badających błąd metody według wzoru Dahlberga ($=\sqrt{(x_1-x_2)^2/2n}$), który określa rozrzut różnic między 2 zestawami pomiarów wykonanych odpowiednio na 31 modelach gipsowych i cyfrowych. Wyniki przedstawiono również w postaci graficznej.

Zmienność pomiarów między badającymi dla modeli gipsowych i cyfrowych oceniono przez porównanie średniej z dwóch zestawów pomiarów wykonanych przez badających w celu wyjaśnienia, czy powtarzalność zależała od rodzaju modelu. Wartości powtarzalności zostały ponownie poddane obliczeniom jako „błąd metody” według wzoru Dahlberga. Dla porównania wartości bezwzględnych użyto testu t - Studenta dla zmiennych powiązanych w celu oceny, czy pomiary wykonane w oparciu o modele cyfrowe istotnie różniły się od odpowiednich pomiarów na modelach gipsowych.

Wyniki

Najmniejsze odchylenia między pomiarami obu badających obserwowano w przypadku szerokości zębów. Badający uzyskali tu powtarzalność na poziomie 0,1 do 0,2 mm niezależnie od rodzaju modelu. W przypadku pomiarów szerokości i długości łuku zębowego, a także w odniesieniu do poziomego i pionowego nagryzu, błąd metody wahał się między 0,11 a 0,91 mm dla modeli gipsowych i między 0,05 a 0,41 mm dla modeli cyfrowych. Znalezione istotną różnicę w błędzie metody między badającymi, a także między pomiarami wykonanymi na modelach gipsowych i cyfrowych. Badający I wykazywał ogólnie większe błędy pomiarów niż badający II, zarówno w przypadku modeli gipsowych, jak i cyfrowych. Ponadto błąd metody przy pomiarach na modelach gipsowych był istotnie większy niż przy odpowiednich pomiarach na modelach cyfrowych (rys. 3).

Zmienność pomiarów między badającymi była większa dla modeli gipsowych w przypadku wszystkich pomiarów z wyjątkiem szerokości zębów. Ogólnie rzecz biorąc, obserwowano większą zgodność między badającymi, gdy pomiary wykonywano na modelach cyfrowych, z wyjątkiem szerokości zębów 1+ i 6+ (rys. 4). Zgodność pomiarów między dwoma badającymi różniła się w zależności od typu modelu i rodzaju pomiaru. Różnica była największa dla długości łuku zębowego, przedniej szerokości łuku zębowego (odstęp międzykłowy) i tylnej szerokości łuku zębowego między trzonowcami na modelach gipsowych (między 0,70 a 0,75 mm). Dla modelu cyfrowego największą różnicę znaleziono w przypadku przedniej i tylnej szerokości łuku zębowego (0,40 do 0,45 mm). Zgodność między badającymi - model gipsowy, między badającymi - model cyfrowy, między modelami - badający I i między modelami - badający II była największa w przypadku pomiaru szerokości zębów 1+, 3+ i 6+ (między 0,15 a 0,25 mm).

Zmienność pomiarów między modelami była największa w przypadku długości łuku zębowego, pionowego i poziomego nagryzu, zarówno w przypadku badającego I, jak i badającego II (między 0,65 a 1,15) (rys. 4).

Przy porównaniu wartości średnich uzyskanych przy 4 zestawach pomiarów (po 2 zestawy dla każdego badającego) nie znaleziono różnic między wynikami uzyskanymi przy pomiarach na modelach gipsowych i cyfrowych (rys. 5).

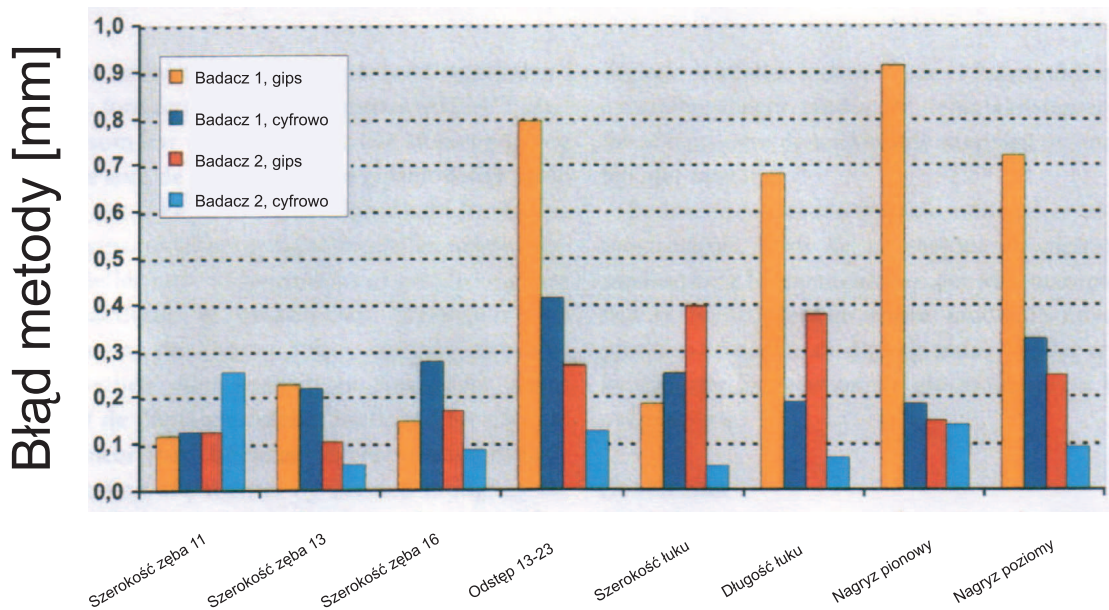
Dyskusja

Powtarzalność w odniesieniu do pomiarów wykonanych na modelach gipsowych i modelach cyfrowych oceniono dla pomiarów szerokości zębów, szerokości i długości łuku zębowego, jak również nagryzu pionowego i poziomego.

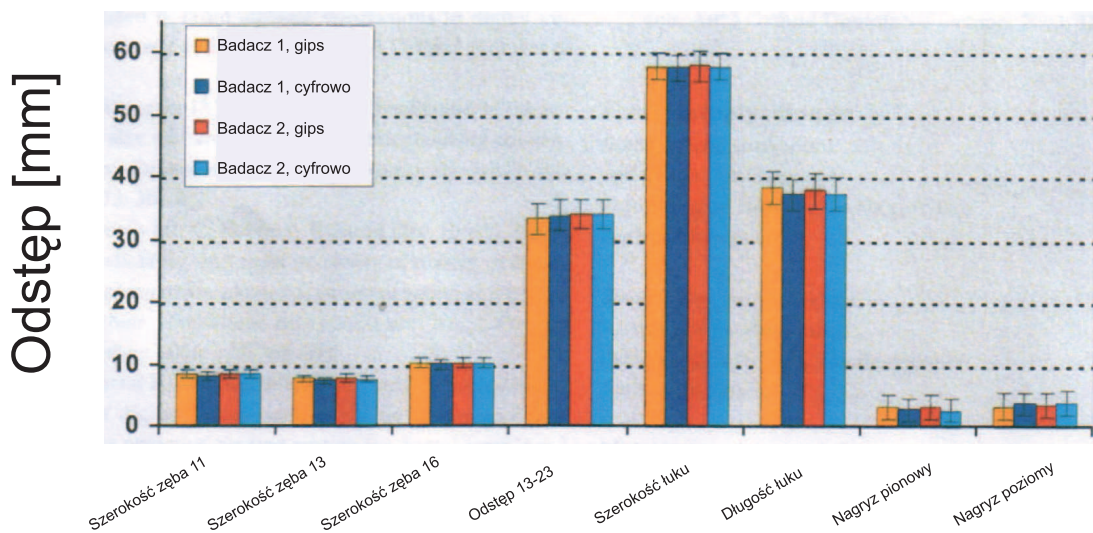
Modele gipsowe uznano za „złoty standard”. Powtarzalność była znacznie większa w przypadku pomiarów na modelach cyfrowych niż modelach gipsowych. Nie dotyczyło to jednak szerokości zęba, którą mierzono z taką samą powtarzalnością niezależnie od rodzaju modelu. Wyniki te potwierdzają wcześniejsze dane uzyskane przez Bell i wsp. (9), którzy również dowiedli, że błąd metody przy pomiarach wykonanych na modelach cyfrowych był mniejszy niż w przypadku pomiarów na modelach gipsowych.

Duży błąd metody przy większości pomiarów wykonanych na modelach gipsowych zależy od zdolności badającego do właściwego umieszczenia suwmiarki w odniesieniu do punktów pomiaru, jak również dokładności bezpośredniego odczytu na cyfrowej suwmiarce lub linijce. Pomiary na modelach cyfrowych są łatwiejsze, gdyż zdefiniowanie płaszczyzny poziomej jest narzucone; to samo dotyczy odczytu wartości. Błąd metody jest więc ograniczony do identyfikacji punktów pomiaru. Pomiar mezjodystalnej szerokości zębów przy użyciu oprogramowania O3DM® stał się łatwiejszy, ponieważ odstęp zawsze są wyznaczane między stycznymi do najbardziej wystających punktów zarysu. Pomimo że punkty pomiaru przed wykonaniem pomiarów były zdefiniowane i ustalone na modelu przez obu badających, istniała istotna różnica w stopniu dokładności, z jaką pomiary te zostały wykonane. Pomijając szerokość zębów 1+ i 6+, największą zgodność między 2 badającymi obserwowano przy pomiarach na modelach cyfrowych, co jest zgodne z obserwacjami uzyskanymi przez Costalos i wsp. (6). Santoro i wsp. (10) wykazali generalnie mniejsze wartości, gdy szerokość zębów mierzono na modelach cyfrowych. Tej niezgodności pomiaru szerokości zębów nie obserwowaliśmy w naszym badaniu, co może wynikać z zastosowanego oprogramowania komputerowego.

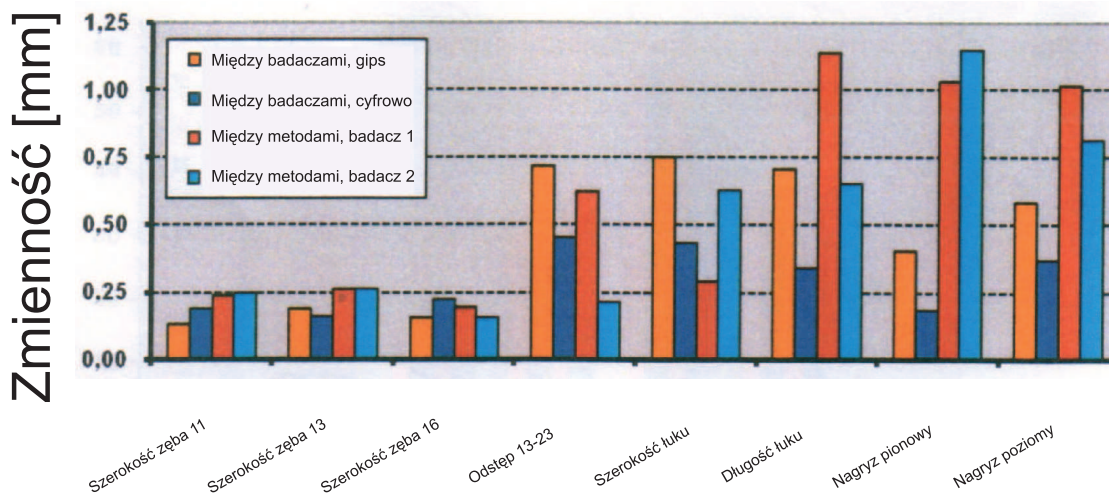
Ogólnie rzecz biorąc, niniejsze badanie wykazało dużą powtarzalność pomiarów przy użyciu modeli cyfrowych. Zilberman i wsp. (4) wykazali wprawdzie, że pomiary szerokości zęba na izolowanych zębach przy pomocy cyfrowej suwmiarki były dokładniejsze niż pomiary na modelu cyfrowym. Ta różnica nie wydaje się być istotna w przypadku porównania modeli gipsowych i cyfrowych w warunkach klinicznych. Modele gipsowe do planowania leczenia w Klinice Ortodoncji Wydziału Stomatologii w Aarhus należą obecnie do przeszłości. W zamian używane są modele cyfrowe oparte o oprogramowanie O3DM®, które okazały się równie dokładne i powtarzalne, co konwencjonalne modele gipsowe stanowiące „złoty standard”. Ponieważ nie ma statystycznie istotnej różnicy między pomiarami na modelach gipsowych i modelach cyfrowych, te ostatnie mogą być preferowane ze względów praktycznych. Modele cyfrowe są w każdej chwili osiągalne na ekranie komputerowym, nie wymagają miejsca do przechowywania, nie mogą ulec



Rys. 3 Porównanie błędu metody przy podwójnych pomiarach wykonanych przez dwóch różnych badających.



Rys. 4 Porównanie zmienności pomiarów dla pojedynczego badacza oraz między badaczami.



Rys. 5 Porównanie średniej dla podwójnych pomiarów uzyskanych przez badającego I i II.

zagubieniu lub zniszczeniu. Ponadto zastosowanie modeli cyfrowych stwarza możliwość przeprowadzenia wirtualnych konferencji z innymi ortodontami, opracowania internetowych programów nauczania, lepszej identyfikacji pacjentów i przez to możliwość lepszej jakości pracy, kontroli leczenia i informacji dla pacjenta.

Wadą modeli gipsowych, które wytwarza się w małych laboratoriach wielu klinik stomatologicznych w całej Danii, jest fakt, że często zawierają one pęcherzyki powietrza i nie są dokładnie wykonane, co utrudnia ocenę zębów i zgryzu i przez to umniejsza ich użyteczność w leczeniu. Modele cyfrowe nie mają wyżej wspomnianych braków i są zestawione w prawidłowym zgryzie. Poza tym modele cyfrowe mogą być użyte w procesie porozumiewania się między specjalistami, stomatologami ogólnymi, asystentami klinicznymi i pacjentami dla uniknięcia potencjalnych błędów w przekazaniu informacji i dokumentacji lekarskiej.

Jeszcze jedna zaleta modeli cyfrowych to fakt, że w przeciwieństwie do modeli gipsowych nie mogą one ulec zafałszowaniu, gdyż zabezpieczone są podpisem elektronicznym, co uniemożliwia ich zamianę przez wykonanie nowego wycisku z innego modelu. Z wyżej wymienionych powodów należy więc w chwili obecnej preferować modele cyfrowe.

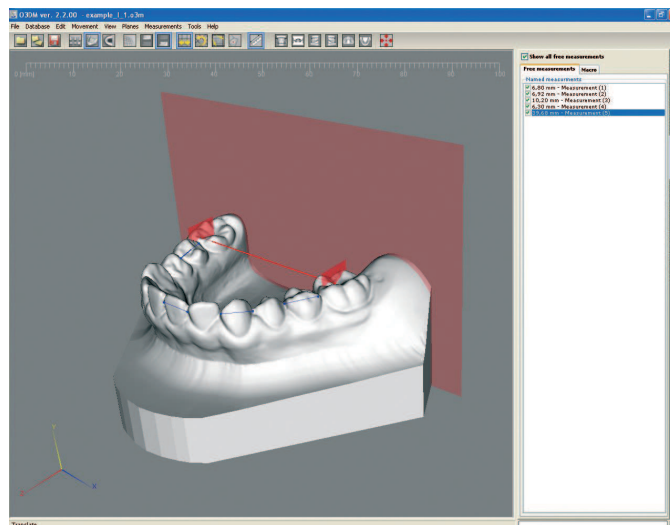


Rys. 1 Szukanie starych modeli gipsowych może okazać się trudnym zadaniem.

Wnioski

Pomiary przeprowadzone na konwencjonalnych modelach gipsowych i modelach cyfrowych nie różnią się statystycznie. Pomiary wykonane na modelach cyfrowych cechowały się większą powtarzalnością niż pomiary wykonane na modelach gipsowych. Zmienność między badającymi była

mniejsza w przypadku modeli cyfrowych niż modeli konwencjonalnych. Dotyczyło to wszystkich pomiarów z wyjątkiem mezjodystalnej szerokości zęba. Modele cyfrowe można zatem uznać za udokumentowaną alternatywę dla modeli gipsowych.



Rys. 2 Pomiary na cyfrowym modelu badawczym (O3DM®).

Podziękowanie

Podziękowania dla Christiana S. Melsena (OrtoLab®, Częstochowa, Polska) za udostępnienie oprogramowania komputerowego O3DM® oraz instrukcji jego użytkowania.

Piśmiennictwo

1. Wenzel A. A review of dentists' use of digital radiology and caries diagnosis with digital systems. *Dentomaxillofac Radiol* 2006; 35: 307-14.
2. Bekendtgørelse om lægers, tandlægers, kiroprakterers, jordemodres, kliniske diaetisters, kliniske tandteknikeres, tandplejeres, optikeres og kontaktlinseoptikeres patientjournaler (journalføring, opbevaring, videregivelse og overdragelse m.v.) nr 1373 af 12. December 2006, Indenrigs- og Sundhedsministeriet.
3. DalstraM, Melsen B. From alginate impressions to digital virtual models: accuracy and reproducibility. *J Orthod*. Antaget til publication.
4. Zillberman O, Huggare JAV, Parikakis KA. Evaluation of the validity of tooth size and arch with measurement using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models. *Anfle Orthod* 2003; 73: 301-6.
5. Stevens DR, Flores-Mir C, Nebbe B, Raboud DW, Heo G, Major PW. Validity, reliability, and reproducibility of plaster vs. digital study models: comparison of peer assessment rating and Bolton analysis and their constituent measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 129: 794-803.
6. Costalos PA, Sarraf K, Cangialosi TJ, EfstratiadisS. Evaluation of the accuracy of digital model analysis for the American Board of Orthodontics objective grading system for dental casts. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005; 128: 624-9.
7. Quimby ML, Vig KW, Rashid RG, Firestone AR. The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models. *Angle Orthod* 2004; 74: 298-303.
8. Okunami TR, Kusnoto B, BeGole E, Evans CA, Sadowsky C, Fadavi S. Assessing the American Board of Orthodontics objective grading system: digital vs plaster dental casts. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; 131: 51-6.
9. Bell A, Ayoub AF, Siebert P. Assessment of the accuracy of a three-dimensional imaging system for achieving dental study models. *J. Orthod* 2003; 30: 219-23.
10. Santoro M, Galkin S, Teredesai M, Nicolay OF, Cangialosi TJ. Comparison of measurements made on digital and plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2003; 124: 101-5.