

To cite this article:

Mazur Marek, Bolesta Kacper, Wieczorek Wiktoria, et al.: Porównanie zastosowania micro-CT i CBCT w przygotowaniu zębów do roli próbek w badaniach *in vitro*. Comparison of micro-CT and CBCT in the preparation of teeth for the role of samples in *in vitro* research. Nowa Stomatol 2022;27(2):76-84. DOI: 10.25121/NS.2022.27.2.75

To link to this article:

<https://doi.org/10.25121/NS.2022.27.2.75>

*MAREK MAZUR¹, KACPER BOLESTA¹, WIKTORIA WIECZOREK¹, DOMINIKA PORTKA¹, MAJA OLBORSKA¹, PIOTR REGULSKI², MARCIN ALUCHNA³

Porównanie zastosowania micro-CT i CBCT w przygotowaniu zębów do roli próbek w badaniach *in vitro*

Comparison of micro-CT and CBCT in the preparation of teeth for the role of samples in *in vitro* research

¹Studenckie Koło Naukowe, Zakład Stomatologii Zachowawczej, Warszawski Uniwersytet Medyczny

²Zakład Radiologii Stomatologicznej i Szczękowo-Twarzowej, Warszawski Uniwersytet Medyczny

Kierownik Zakładu: prof. dr hab. n. med. Kazimierz Szopiński

³Zakład Stomatologii Zachowawczej, Warszawski Uniwersytet Medyczny

Kierownik Zakładu: prof. dr hab. n. med. Agnieszka Mielczarek

SŁOWA KLUCZOWE

mikrotomografia rentgenowska, tomografia komputerowa wiązką stożkową, dokładność pomiarów przestrzennych, grubość zębiny

STRESZCZENIE

Wstęp. Grubość zębiny stanowi ważny czynnik wpływający na wyniki otrzymywane w badaniach eksperymentalnych. Odpowiednio precyzyjna i powtarzalna metoda jego pomiaru ma kluczowe znaczenie w zapewnieniu rzetelności i wiarygodności pracy badawczej.

Cel pracy. Celem niniejszego badania było porównanie zastosowania tomografii komputerowej wiązką stożkową i mikrotomografii w przygotowaniu zębów do roli próbek w badaniach medycznych.

Materiał i metody. Spośród 100 usuniętych zębów wyselekcjonowano 4 o odpowiednich cechach budowy potwierdzonych na obrazach pochodzących z CBCT. Zostały one zatopione w masie silikonowej i przecięte w płaszczyźnie horyzontalnej w taki sposób, by płaszczyzna przecięcia była równoległa do płaszczyzny wyznaczonej przez szczyty rogów miazgi. Następnie próbki zostały poddane badaniom tomografii komputerowej wiązką stożkową oraz mikrotomografii. Dwóch autorów niezależnie wykonywało pomiary odległości pomiędzy płaszczyzną przecięcia a szczytami rogów miazgi na otrzymanych przekrojach czołowych i strzałkowych. Otrzymane wartości pomiarów zostały opracowane statystycznie.

Wyniki. Wartości pomiarów wykonywanych na przekrojach CBCT były większe niż wartości uzyskane z pomiarów wykonywanych w micro-CT. W przypadku dwóch z czterech próbek uzyskano istotne statystycznie różnice w wartościach pomiarów.

Wnioski. Badanie CBCT nie jest wystarczającym narzędziem w precyzyjnym przygotowaniu zębów do roli próbek badawczych.

KEYWORDS

X-Ray Microtomography, Cone-Beam Computed Tomography, Dimensional Measurement Accuracy, Dentine Thickness

SUMMARY

Introduction. The thickness of dentine is an important factor affecting the results of experimental studies. An adequately precise and repeatable method for its measurement is of key importance for ensuring the reliability and credibility of research.

Aim. The aim of this study was to compare conical beam computed tomography (CBCT) and microtomography (micro-CT) for the preparation of teeth as specimens in medical research.

Material and methods. From among 100 extracted teeth, 4 teeth with appropriate structural features confirmed in CBCT images were selected. They were embedded in silicone mass and cut in a horizontal plane in such a way that the intersection plane was parallel to the plane defined by the pulp horns. Next, the samples were subjected to conical beam computed tomography and microtomography. Two authors independently measured the distance between the plane of intersection and the pulp horns on the obtained frontal and sagittal sections. The obtained measurements were statistically processed.

Results. The values obtained with CBCT were higher than those obtained with micro-CT. Statistically significant differences were found for two of four samples.

Conclusions. CBCT is not sufficient for precise preparation of teeth for the role of research specimens.

WSTĘP

Zęby usunięte są często stosowanym materiałem w badaniach *in vitro*. Po odpowiednim przygotowaniu mogą bardzo wiarygodnie symulować warunki występujące w czasie opracowywania i wypełniania ubytków w praktyce klinicznej. Stosując zęby usunięte w badaniach, konieczne jest odpowiednio precyzyjne i powtarzalne przygotowanie próbek (1). Szczególnie istotne dla wyników prowadzonych badań jest uzyskanie określonej i powtarzalnej dla wszystkich próbek grubości zębiny. Czynniki, takie jak przewodność temperatury czy przepuszczalność dla substancji chemicznych, są bezpośrednio powiązane z grubością izolującej warstwy zębiny. Jest ona jednym z najważniejszych czynników, które wpływają na zachowanie żywotności miazgi zęba podczas opracowania i wypełniania ubytków (2).

W dostępnych publikacjach najczęściej badacze podają głębokość preparacji danego ubytku. Takie postępowanie nie pozwala na dokładne określenie grubości zębiny pomiędzy powierzchnią dna ubytku a komorą miazgi. Złotym standardem pomiarów w badaniach naukowych jest analiza zdjęć mikroskopowych. Niestety metody tej nie można wykorzystać w przygotowaniu próbek, gdyż wiąże się ona ze zniszczeniem badanych obiektów. W literaturze można znaleźć kilka nieinwazyjnych metod pozwalających na określenie grubości pozostałej zębiny. Najbardziej rozpowszechnione i najczęściej używane są metody oparte na wykorzystaniu promieniowania rentgenowskiego. Zdjęcie zębowe, będące najprostszym narzędziem służącym obrazowaniu tkanek zmineralizowanych zęba, może być zawodne, gdyż będąc zdjęciem sumacyjnym, daje nakładanie się obrazu wszystkich struktur na przebiegu promienia, w tym rogów miazgi. Zdecydowanie większe możliwości w tym zakresie oferuje badanie CBCT (tomografia komputerowa wiązką stożkową). Po rekonstrukcji daje ona obraz w trzech wymiarach przestrzennych. Ograniczeniem tego narzędzia jest jednak relatywnie niska rozdzielczość. Obecnie duże nadzieje

INTRODUCTION

Extracted teeth are often used for *in vitro* studies. If prepared properly, they can simulate the conditions during the preparation and filling of cavities in clinical practice with high reliability. When using extracted teeth for research purposes, precise and reproducible preparation of specimens is needed (1). Obtaining a specific and repeatable dentine thickness for all samples is particularly important for research results. Factors such as thermal conductivity and chemical permeability are directly related to the thickness of the insulating dentine layer. It is one of the key factors that affect pulpal vitality during preparation and filling of cavities (2).

In the available publications, researchers usually specify the depth of preparation of a given cavity. This does not allow for accurate determination of dentinal thickness between the surface of the cavity floor and the pulp chamber. Analysis of microscopic images is the gold standard of measurement in scientific research. Unfortunately, this method cannot be used for preparing samples, as it involves destruction of objects under investigation. Several non-invasive methods to determine residual dentinal thickness may be found in the literature. The most popular and most frequently used methods are based on radiography. Periapical radiograph, which is the simplest tool for imaging the mineralised dental tissues, is a summation image and therefore may be unreliable as it represents an overlapping image of all structures along the radius, including the pulp horns. Cone beam computed tomography (CBCT) offers much greater possibilities in this regard. After reconstruction, it produces a three-dimensional image. However, a relatively low resolution is a limitation of this tool. Currently, high hopes are placed on micro-CT (X-ray microtomography). This tool has been

pokładane są w micro-CT (mikrotomografia rentgenowska). Narzędzie to z powodzeniem wykorzystywane jest w licznych badaniach naukowych i pozwala na precyzję pomiarów porównywalną z mikroskopem stereoskopowym (3).

CEL PRACY

Celem niniejszej pracy jest sprawdzenie, czy CBCT spełnia kryteria wymaganej jakości obrazowania dla uzyskania dokładnego pomiaru grubości pozostałej zębiny w czasie przygotowywania próbek do badań naukowych.

MATERIAŁ I METODY

W ciągu dwóch miesięcy zebrano łącznie 100 zębów trzecich trzonowych usuniętych z przyczyn periodontologicznych, ortodontycznych i chirurgicznych. Zęby były przechowywane w 1% roztworze tymolu przez 1 miesiąc w temperaturze pokojowej. Spośród wszystkich zębów wyselekcjonowano 15, które były wolne od próchnicy i wad rozwojowych szkliwa. Wybrane zęby zostały oczyszczone z resztek tkanek miękkich przy pomocy 2% roztworu podchlorynu sodu oraz skalera piezoelektrycznego (Woodpecker, Chiny), po czym starannie je wypolerowano przy pomocy zawiesiny pumeksu i szczotki osadzonej w kątnicy.

Następnie korzenie wyselekcjonowanych zębów zostały całkowicie zatopione w masie silikonowej (3M Express XT Putty Soft, USA) do wysokości połączenia szkliwno-cementowego. Na bloczku silikonowym oznaczono rzędy za pomocą liter alfabetu łacińskiego (A-D), zaś kolumny za pomocą cyfr arabskich (1-4) (ryc. 1). Gotowy bloczek silikonowy poddano badaniu tomografii komputerowej wiązką stożkową (Vatech Pax-i 3D, Korea Południowa). Wstępne badanie CBCT miało na celu wyselekcjonowanie zębów o określonej budowie anatomicznej, umożliwiającą takie ustawienie płaszczyzny horyzontalnej w czasie analizowania badania, by przechodziła ona przez szczyty dokładnie trzech wybranych guzków. Po ustaleniu takiej płaszczyzny przesuwno ją równolegle dowierzchołkowo aż do uwidocznienia rogów miazgi. Wybierano tylko te zęby, w których płaszczyzna przechodząca przez szczyty wybranych guzków była równoległa do płaszczyzny przechodzącej przez szczyty



Ryc. 1. Zęby przygotowane do wstępnego CBCT

Fig. 1. Teeth prepared for initial CBCT

successfully used in many scientific studies and allows for precise measurements comparable to those obtained with a stereoscopic microscope (3).

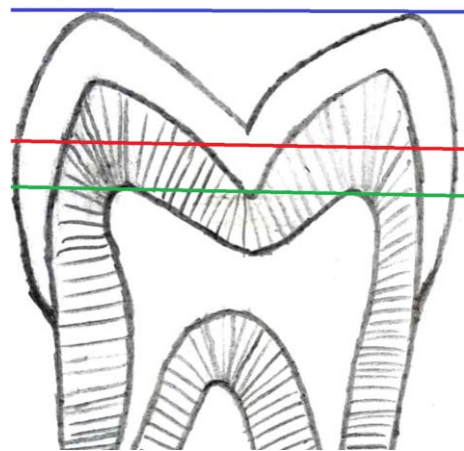
AIM

The aim of this study was to verify whether CBCT meets the required imaging quality criteria to obtain an accurate measurement of residual dentine thickness when preparing specimens for scientific research.

MATERIAL AND METHODS

A total of 100 third molars extracted for periodontal, orthodontic and surgical reasons were collected over a period of two months. The teeth were stored in a 1% thymol solution for 1 month at room temperature. Of all the teeth, 15 non-carious teeth with no enamel developmental defects were selected. The selected teeth were cleaned of residual soft tissue using a 2% sodium hypochlorite solution and a piezoelectric scaler (Woodpecker, China), and then carefully polished using a pumice slurry and a contra-angle brush.

Next, the roots of selected teeth were fully embedded in a silicone mass (3M Express XT Putty Soft, USA) up to the level of the cement-enamel junction (CEJ). Rows were marked with letters of the Latin alphabet (A-D), and columns with Arabic numerals (1-4) on the silicone block (fig. 1). Finished silicone blocks were subjected to CBCT (Vatech Pax-i 3D, South Korea). Baseline CBCT was aimed at selecting teeth with a specific anatomical structure, enabling such setting of the horizontal plane during analysis that it passed through the tips of exactly three selected cusps. Once established, the plane was moved parallel and apically until the pulp horns were exposed. Only those teeth were selected in which the plane passing through the tips of selected cusps was parallel to the plane passing through the tips of all



Ryc. 2. Stosunki przestrzenne płaszczyzn wyznaczonych w próbkach

Fig. 2. Spatial relations of planes determined in the specimens

wszystkich rogów miazgi. Na podstawie analizy obrazów CBCT wyselekcjonowano 4 zęby spełniające powyższe założenia. Zależności przestrzenne przedstawiono na rycinie 2.

Wybrane zęby zostały wyjęte z materiału silikonowego. Zidentyfikowano guzki wyznaczające płaszczyznę horyzontalną (linia najwyższa na rycinie 2). Następnie każdy ząb umieszczono na płaskiej powierzchni płytki szklanej w taki sposób, by oznaczone guzki kontaktowały się z jej powierzchnią. Wykonano indywidualne indeksy z masy silikonowej (3M Express XT Putty Soft, USA) w określonym uprzednio położeniu przestrzennym. Płaska powierzchnia indeksu była tożsama z płaszczyzną wyznaczoną przez szczyty guzków oraz równoległa do płaszczyzny wyznaczonej przez szczyty rogów miazgi.

Na obrazach pochodzących z CBCT zmierzono odległość między płaszczyzną wyznaczoną przez szczyty rogów miazgi a płaszczyzną wyznaczoną przez szczyty wybranych guzków (linie najwyższa i najniższa na rycinie 2). Następnie wyznaczono w każdym zębie dodatkową płaszczyznę 2 mm powyżej szczytów rogów miazgi (linia środkowa na rycinie 2), po czym zmierzono odległość pomiędzy uzyskaną w ten sposób płaszczyzną a płaszczyzną przechodzącą przez szczyty wybranych guzków. Indeksy silikonowe zostały docięte przy pomocy skalpela nr 11 (SwannMorton, Anglia) po odmierzeniu za pomocą suwmiarki (Magtoto, Chiny) wyznaczonej wcześniej odległości od płaskiej powierzchni indywidualnego indeksu silikonowego do wyznaczonej uprzednio dodatkowej płaszczyzny. Poprzez docięcie indeksów odstąpiło część korony klinicznej zęba (ryc. 3). Została ona usunięta przy pomocy wiertel diamentowych (MDT, Izrael) na wiertarce turbinowej (W&H, Austria) w taki sposób, by uzyskać płaską powierzchnię. Powierzchnia została następnie wygładzona za pomocą krążków abrazyjnych Sof-Lex (3M ESPE, USA) (ryc. 4). Odległość pomiędzy szczytami rogów miazgi a powierzchnią przecięcia próbek powinna wynosić około 2 mm.

Tak przygotowane zęby umieszczono na płytce szklanej i wykonano końcowe CBCT przeznaczone do pomiarów. Pomiary przeprowadzono przy pomocy oprogramowania

pulp horns. Based on the analysis of CBCT images, 4 teeth meeting the above assumptions were selected. Spatial relationships are shown in figure 2.

Selected teeth were removed from the silicone. Cusps defining the horizontal plane were identified (the highest line in figure 2). Then, each tooth was placed on a flat glass plate in such a way that the marked cusps contacted its surface. Individual silicone indexes were made (3M Express XT Putty Soft, USA) in a predetermined spatial position. The flat surface of the index was the same as the plane defined by cusp tips and parallel to the plane defined by the tips of the pulp horns.

The distance between the plane defined by pulp horn tips and the plane defined by the tops of selected cusps (the highest and the lowest line in figure 2) was measured on CBCT images. Then, an additional plane was determined 2 mm above pulp horn tips in each tooth (middle line in figure 2), and the distance between the obtained plane and the plane passing through the tips of the selected cusps was measured. Any excess material was cut away from the silicone indexes with a Scalpel blade number 11 (SwannMorton, England), after measuring the predetermined distance from the flat surface of the individual silicone index to the previously determined additional plane with a caliper (Magtoto, China). Trimming of the indexes exposed part of the clinical crown of the tooth (fig. 3). It was removed with diamond burs (MDT, Israel) mounted on a dental turbine (W&H, Austria) in such a way as to obtain a flat surface. The surface was then polished with Sof-Lex abrasive discs (3M ESPE, USA) (fig. 4). The distance between the tips of the pulp horns and the cut surface of the specimens should be approximately 2 mm.

The teeth prepared in this way were placed on a glass plate and then CBCT destined for the final measurements was performed. The measurements were made using RadiAnt Viewer (Medixant, Poland) software for viewing radiological images independently by 2 authors.



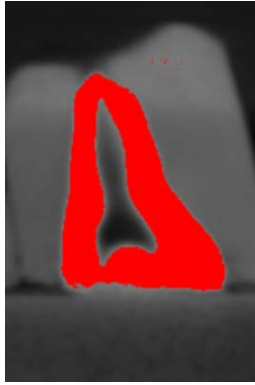
Ryc. 3. Docięte indywidualne indeksy silikonowe

Fig. 3. Trimmed individual silicone indices



Ryc. 4. Próbkę przygotowana do skanowania

Fig. 4. A specimen prepared for scanning

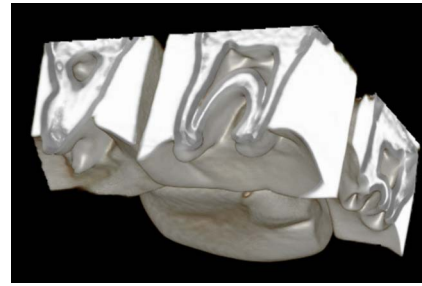


Ryc. 5. Renderowanie objętościowe z oknem kostnym

Fig. 5. Volumetric rendering with a bone window

służącego do przeglądania obrazów radiologicznych RadiAnt Viewer (Medixant, Polska) niezależnie przez dwóch autorów. Pomiar wykonywano od uprzednio przygotowanej płaskiej powierzchni prostopadle do rogu miazgi, w płaszczyźnie strzałkowej i czołowej. Pomocniczo w programie Ez 3D plus (Vatech PaX-i 3D, Korea Południowa) przeprowadzono renderowanie objętościowe z oknem kostnym i rekonstrukcję obrazów 3D, by lepiej zobrazować zależności przestrzenne topografii komory zęba. Obrazy te nie zostały użyte do wykonania pomiarów. Uzyskane obrazy ukazują ryciny 5 i 6. W kolejnym etapie próbki zostały poddane badaniu mikrotomografii (SkyScan, Belgia). Odległości zostały zmierzone w analogiczny sposób i przez tych samych autorów prowadzących pomiary wykonywane w oparciu o obrazy CBCT.

Zgodność pomiarów przeprowadzonych przez autorów została sprawdzona poprzez obliczenie współczynnika korelacji wewnątrzklasowej (ang. *intraclass correlation coefficient* – ICC), obliczonego osobno dla grupy pomiarów pochodzących z CBCT oraz pochodzących z micro-CT. Obliczono średnie wartości pomiarów i odchylenia standardowe dla każdej próbki. W programie Microsoft Excel



Ryc. 6. Rekonstrukcja trójwymiarowa

Fig. 6. 3D reconstruction

The measurement was taken from the prepared flat surface, perpendicularly to the pulp horn, in the sagittal and frontal planes. Additionally, volumetric rendering with a bone window and reconstruction of 3D images were performed using Ez 3D plus software (Vatech PaX-i 3D, South Korea) to better visualize the spatial relationships of tooth chamber topography. These images were not used for measurements. The obtained images are shown in figures 5 and 6. In the next stage, the specimens were subjected to microtomography (SkyScan, Belgium). The distances were measured in a similar way and by the same authors who performed CBCT measurements.

The compatibility of the measurements taken by the authors was verified by calculating the intraclass correlation coefficient (ICC) separately for the group of CBCT and micro-CT measurements. Mean measurement values and standard deviations were calculated for each specimen. Microsoft Excel (Microsoft, USA) was used for statistical analysis of the obtained results. Student's T-test was used

Tab. 1. Pomiary w CBCT i micro-CT oraz analiza statystyczna

Nr zęba	Pomiary w CBCT średnia ± SD	Pomiary w mikro-CT średnia ± SD	Istotność statystyczna (test t-studenta)	Wielkość efektu (d Cohen)
1	1,780 ± 0,136	1,570 ± 0,126	p < 0,05	1,63
2	1,370 ± 0,455	1,320 ± 0,510	p > 0,05	0,10
3	1,920 ± 0,217	1,710 ± 0,266	p < 0,05	0,88
4	1,420 ± 0,405	1,360 ± 0,496	p > 0,05	0,13

Tab. 1. CBCT and micro-CT measurements and statistical analysis

Tooth no.	CBCT measurements mean ± SD	Micro-CT measurements mean ± SD	Statistical significance (Student's T-test)	Effect size (Coehn's d)
1	1.780 ± 0.136	1.570 ± 0.126	p < 0.05	1.63
2	1.370 ± 0.455	1.320 ± 0.510	p > 0.05	0.10
3	1.920 ± 0.217	1.710 ± 0.266	p < 0.05	0.88
4	1.420 ± 0.405	1.360 ± 0.496	p > 0.05	0.13

(Microsoft, USA) wykonano analizę statystyczną otrzymanych wyników, obliczając przy pomocy testu T-studenta istotność statystyczną wyników oraz stosując d Cohena obliczono wielkość efektu.

WYNIKI

Współczynnik korelacji wewnątrzklasowej wynosił zarówno w grupie CBCT, jak i w grupie micro-CT 0,97, co odpowiada wysokiej zgodności pomiarów między autorami. Uzyskane średnie wartości pomiarów wraz z odchyleniami standardowymi zostały przedstawione w tabeli 1. Największą wartość średniej grubości pozostałej zębiny uzyskano w próbce nr 3 zarówno w wynikach badania CBCT, jak i micro-CT. Najmniejsze wartości zostały uzyskane po analizie obydwu badań w próbce nr 2. Duże istotne statystycznie różnice pomiędzy wartościami pomiarów zostały uzyskane w przypadku zębów nr 1 i 3. W przypadku każdego zęba średnia wartość pomiarów osiągnięta w badaniu CBCT okazywała się wyższa niż w badaniu mikrotomograficznym.

DYSKUSJA

Tomografia komputerowa wiązką stożkową jest powszechnie stosowanym narzędziem w diagnostyce klinicznej. Wiązka promieniowania w kształcie stożka, emitowana z ruchomego źródła poruszającego się wokół badanego obiektu, pozwala na uzyskanie trójwymiarowego obrazu badanych struktur przy użyciu mniejszej dawki promieniowania w porównaniu z klasyczną tomografią komputerową. Mikrotomografia rentgenowska nie jest wykorzystywana klinicznie, lecz służy do obrazowania trójwymiarowego struktur mikroskopowych nieprzepuszczalnych dla promieniowania. Pozwala na obrazowanie dróg neuronalnych oraz morfologii tkanek, w tym zębów. W przeciwieństwie do obrazów pochodzących z mikroskopu świetlnego daje ona obraz trójwymiarowy. W stomatologii technologia ta wykorzystywana jest przede wszystkim w badaniach z zakresu endodoncji, gdzie precyzja obrazowania umożliwia ocenę morfologii oraz zakres opracowania i precyzję wypełnienia systemu kanałowego (4, 5).

Zastosowanie badania mikrotomograficznego umożliwia przeprowadzenie o wiele dokładniejszych pomiarów grubości zębiny niż badanie CBCT. Rozdzielczość badania CBCT stosowanego w naszym eksperymencie wynosi 248 μm , podczas gdy rozdzielczość uzyskana na obrazach mikro-CT – 37 μm . Zatem obrazy pochodzące z mikro-CT są około 6-7 razy dokładniejsze w porównaniu z obrazami CBCT. Badanie CBCT z powodu ograniczonej rozdzielczości nie pozwala na precyzyjne lokalizowanie rogów miazgi, podczas gdy wysoka rozdzielczość mikro-CT zapewnia bardzo dokładne odwzorowanie topografii tkanek zęba. Porównanie średnich pomiarów odległości między płaszczyzną przecięcia a rogiem miazgi pokazuje jednoznacznie, że wartości mierzone na obrazach uzyskanych z CBCT są większe od wartości mierzonych na obrazach z mikro-CT. Przyczyny należy upatrywać w tym, że badanie mikrotomograficzne wykryło z dużą dokładnością szczyty rogów miazgi, które w badaniu CBCT były niewidoczne, gdyż znajdowały się

to calculate statistical significance and the Cohen's d was used to calculate the effect size.

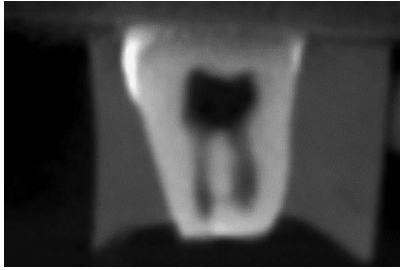
RESULTS

The intraclass correlation coefficient was 0.97 both in the CBCT group and in the micro-CT group, which indicates high agreement between the measurements taken by the authors. The obtained mean measurement values with standard deviations are shown in table 1. The highest mean residual dentine thickness was obtained for specimen no. 3 in both CBCT and micro-CT results. The lowest values were obtained after analyzing both tests in sample no. 2. Large statistically significant differences between the measurements were obtained for teeth no. 1 and no. 3. For each tooth, the mean CBCT values were found to be higher than those obtained in microtomography.

DISCUSSION

Cone beam computed tomography is a commonly used tool in clinical diagnosis. A cone-shaped radiation beam, emitted from a source travelling around the investigated object, allows to obtain a three-dimensional image of its structures, using a lower dose of radiation compared to conventional CT. X-ray microtomography is used for three-dimensional imaging of radiopaque microscopic structures rather than for clinical purposes. It allows imaging of neuronal pathways and tissue morphology, including dentition. Unlike light microscopes, it produces a three-dimensional image. In dentistry, this technology is used primarily in endodontic research, where precise imaging enables the assessment of morphology, as well as the extent of preparation and precision of filling the root canal system (4, 5).

Microtomography allows for much more accurate measurements of dentinal thickness than CBCT. CBCT used in our experiment had a resolution of 248 μm , while the resolution obtained on the micro-CT images is 37 μm . Thus, micro-CT images are approximately 6.7 times more accurate compared to CBCT images. Due to the limited resolution, CBCT does not allow for precise localisation of pulp horns, while the high resolution of micro-CT delivers a very accurate representation of dental tissue topography. Comparing the mean measurements of the distance between the plane of intersection and the pulp horn clearly shows that CBCT values are greater than those measured on micro-CT images. This may be due to the fact that microtomography highly accurately detected the tips of pulp horns, which were not visible in CBCT as they were located between the recorded images of successive layers. The CBCT measurements did not show the actual distance from the tips of pulp horns, but the distance shown on the section, which may not have included the point closest to the intersection plane.



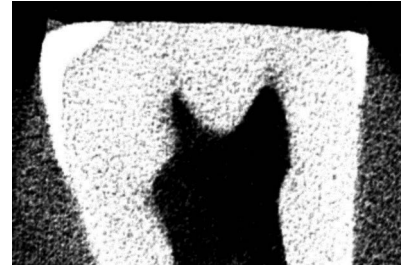
Ryc. 7a. Obraz zęba nr 3 w CBCT

Fig. 7a. CBCT image of tooth no. 3

pomiędzy rejestrowanymi obrazami kolejnych warstw. Pomiary wykonywane na obrazach pochodzących z CBCT nie pokazywały rzeczywistej odległości od szczytów rogów miazgi, lecz odległość ukazaną na przekroju, który mógł nie zawierać punktu będącego najbliżej płaszczyzny przecięcia. W badaniu mikro-CT odległość pomiędzy poszczególnymi przekrojami była ponad 6-krotnie mniejsza, co powodowało lepszą wykrywalność punktów najbliższych płaszczyźnie przecięcia. Konsekwencją są mniejsze wartości średniej pomiarów. Ponadto ostrość obrazu w CBCT jest mniejsza niż w mikro-CT. Badanie mikrotomograficzne pozwala na precyzyjny pomiar, podczas gdy tomografia komputerowa wiązką stożkową daje obrazy o rozmytych nieostrych krawędziach, co pokazano na rycinach 7a i 7b. Duży rozmiar woksela w CBCT sprawił, że szczyty rogów miazgi były obrazowane podobnie do zębiny, co spowodowało zawyżenie rejestrowanych wartości. Pomiary wykonywane w oparciu o obrazy badania CBCT nie mogą być zatem uznane za precyzyjne, z uwagi na rozmycie brzegów implikujące mniejszą wiarygodność przeprowadzonego pomiaru.

W badaniach naukowych dokładność i precyzja rejestrowanych parametrów mają kluczowe znaczenie. Wartości uzyskiwane w wyniku pomiarów pochodzących z CBCT w przypadku próbek 1 i 3 są istotnie większe niż wartości uzyskiwane w pomiarach z mikro-CT. Wykorzystanie w eksperymencie naukowym zębów przygotowanych tylko w oparciu o badanie CBCT może istotnie wpłynąć na zafałszowanie wyników. Brak precyzji w ustalaniu grubości pozostałej zębiny w istotny sposób utrudnia porównywanie wyników poszczególnych badań ze sobą, a także może prowadzić do wyciągania błędnych wniosków z przeprowadzonych doświadczeń. Jest to szczególnie ważne w badaniach dotyczących przewodnictwa temperatury czy przepuszczalności zębiny.

Wyniki naszego badania są zgodne z wynikami przedstawionymi przez Mangione i wsp. (6). Ich zespół stosując obrazy pochodzące z mikro-CT i CBCT, wykonywał pomiary szerokości śrubowych wszczepów śródkostnych zaimplantowanych w kości świńskiej. Pomiary wykonane na obrazach pochodzących z CBCT wskutek niskiej ostrości obrazowania i artefaktów dały większe wartości w porównaniu z pomiarami pochodzącymi z mikro-CT. Różnice pomiędzy wartościami pomiarów w większości przypadków były istotne statystycznie. Do podobnych wniosków doszli Tayman i wsp.



Ryc. 7b. Obraz zęba nr 3 w mikro-CT

Fig. 7b. Micro-CT image of tooth no. 3

In micro-CT, the distance between individual sections was more than 6 times smaller, which resulted in better detection of points closest to the intersection plane. Consequently, lower mean values of measurements were obtained. Furthermore, the sharpness of CBCT image is lower than that of micro-CT. Microtomography allows for a precise measurement, while CBCT produces images with blurred out-of-focus edges, as shown in figures 7a and 7b. Large voxel size in CBCT resulted in the tips of the pulp horns being imaged similarly to dentine, which resulted in overestimation of the recorded values. Measurements based on CBCT images cannot therefore be considered precise, due to the blurring of the edges, and therefore lower measurement reliability.

Accuracy and precision of the recorded parameters is of key importance in scientific research. CBCT values for specimens 1 and 3 were significantly higher than micro-CT values. The use of teeth prepared only based on CBCT in a scientific experiment may significantly contribute to false results. The lack of precision in determining residual dentine thickness makes it significantly difficult to compare the results obtained in different studies, and may also lead to incorrect conclusions from the conducted experiments. This is particularly important in research on dentinal thermal conductivity or permeability.

Our findings are consistent with those reported by Mangione et al (6). Their team used micro-CT and CBCT images to measure the width of intraosseous screw implants in porcine bone. CBCT yielded higher measurement values compared to micro-CT due to low image quality and artifacts. Differences between measurement values were statistically significant in most cases. Similar conclusions were reached by Tayman et al., who measured bone defects caused by periodontal disease on CBCT and micro-CT images (7). They found that bone loss measurements performed on micro-CT images yielded statistically significant higher values compared to CBCT measurements. According to the authors, low sharpness of CBCT images of bone edges, which could suggest a smaller extent of the defect, may be the reason. Another study conducted by Ferrare et al.

(7). Mierzyli oni ubytki kostne wywołane chorobami przyzębia na obrazach CBCT i mikro-CT. Stwierdzili, że pomiary ubytków kostnych wykonywane na obrazach pochodzących z mikro-CT dały istotnie statystycznie wyższe wartości w porównaniu z pomiarami wykonywanymi przy pomocy CBCT. Przyczynę autorzy upatrują w niskiej ostrości obrazowania brzegów kości na CBCT, co mogło sugerować mniejszą rozległość ubytku. Inne badanie przeprowadzone przez Ferrare i wsp. ukazało zaś, że wielkość bloków kostnych jest niedoszacowana na obrazach CBCT w porównaniu do mikro-CT, co autorzy tłumaczą niską rozdzielczością i rozmyciem brzegów obrazowanych próbek. Otrzymane wartości nie były jednak istotnie statystycznie (8).

Alternatywą dla pomiarów radiologicznych wykorzystywanych przez nasz zespół są pomiary fotograficzne. W środowisku naukowym pomiary na fotografiach wykonanych w mikroskopie są uważane za złoty standard postępowania w mierzeniu małych obiektów. Wykonanie pomiarów grubości zębiny w mikroskopie świetlnym wymaga jednak zniszczenia próbki poddawanej obserwacji, w związku z czym nie można wykorzystać tej metody w przygotowaniu materiału badawczego. Jak donoszą Demirel i wsp. (9), pomiary radiologiczne mają mniejsze niż fotograficzne odchylenie standardowe, średnią i medianę. W ocenie autorów wspomnianego opracowania jest to skutkiem błędnej lokalizacji punktów pomiarowych w analizowanych obrazach radiologicznych. Przyczyną jest mniejsza mineralizacja niektórych obszarów zęba, szczególnie w przypadku pomiarów przeprowadzanych w zębach dotkniętych próchnicą. Słabo zmineralizowane bądź zdemineralizowane obszary na obrazach radiologicznych dają obraz słabego zacienienia, co może generować błędy w pomiarach. Kolejnym ograniczeniem obrazów radiologicznych jest niewystarczająca ostrość. O ile przy badaniach CBCT może to być istotny problem, to zastosowanie mikro-CT zapewnia właściwą jakość obrazowania. Porównania CBCT, mikro-CT i pomiarów w mikroskopii SEM podjęli się Caspar i wsp. (3). Ich zespół badał mikropęknięcia korzenia spowodowane opracowywaniem kanałów korzeniowych. Zaprezentowane przez nich wyniki jednoznacznie pokazują, że badanie CBCT nie jest w stanie wykrywać mikropęknięć, podczas gdy badanie mikro-CT ukazuje ich obecność. Najwięcej mikropęknięć wykryto za pomocą analizy obrazów pochodzących z SEM.

Kolejną metodą pomiaru grubości zębiny jest zastosowanie optycznej tomografii koherencyjnej (OCT). Jest to narzędzie, które za pomocą wiązki światła pozwala na uzyskanie obrazów podobnych do skanu. Wykorzystywana jest obecnie w okulistyce. Według doniesień metoda ta dorównuje precyzją mikrotomografii (10). OCT jest nieinwazyjnym narzędziem, działającym wysoce precyzyjnie przy grubości warstwy zębiny wielkości maksymalnie 1 mm. W stomatologii nie jest stosowana powszechnie z powodu trudności w określeniu wartości współczynnika refrakcji. Zależnie od liczby i przebiegu kanałków zębinowych, stopnia zmineralizowania tkanki, sklerotyzacji i jej nawodnienia wartości współczynnika refrakcji wynoszą między 1,43 a 1,57. Krause

showed that the size of bone blocks is underestimated in CBCT images compared to micro-CT, which is explained by the authors by low resolution and blurring of the edges of the imaged specimens. However, the values obtained were not statistically significant (8).

Photographic measurements are an alternative to radiological measurements used by our team. In the scientific community, measurements on photographs taken under a microscope are considered the gold standard for measuring small objects. However, the measurement of dentine thickness using a light microscope involves the destruction of the investigated sample, and therefore this method cannot be used in the preparation of research material. As reported by Demirel et al. (9), radiological measurements have a smaller standard deviation, mean and median compared to photographic measurements. According to the authors, this results from incorrect location of measurement points in the analysed radiological images. This is due to lower mineralisation of certain tooth areas, especially when measurements are performed on decayed teeth. Poorly mineralised or demineralised areas on radiographs give a faint shadow image, which can generate measurement errors. Insufficient sharpness is another limitation of radiographic images. While this may be a significant problem in CBCT, the use of micro-CT ensures proper imaging quality. Caspar et al. compared CBCT, micro-CT and SEM measurements (3). They analysed root microcracks caused by root canal preparation. Their findings clearly showed that CBCT is not able to detect microcracks as opposed to micro-CT. The largest number of microcracks were detected with SEM images.

Optical coherence tomography (OCT) is another method for measuring dentinal thickness. This tool uses a beam of light to obtain scan-like images. It is currently used in ophthalmology. According to reports, this method achieves the same precision as microtomography (10). OCT is a non-invasive tool showing high precision for dentine thickness of up to 1 mm. It is not commonly used in dentistry due to difficulties in determining the refractive index. Depending on the number and course of the dentinal tubules, the degree of tissue mineralisation, sclerosis and hydration, the refractive index ranges from 1.43 to 1.57. In their attempts, Krause et al. assumed the mean refractive index at 1.55, which probably explains the significant discrepancies in the results obtained using light microscopy and OCT. Majkut et al. showed, however, that there is a strong correlation between dentinal thickness measured on micro-CT and OCT images, despite the greater blurring of the edges on OCT images (11, 12).

A micrometer is another tool commonly used by researchers to measure residual dentine thickness. The measurement involves inserting one arm of the device into the tooth chamber, while the other arm is placed in the

i wsp. w swoich próbach przyjęli uśredniony współczynnik refrakcji na poziomie 1,55, co zapewne tłumaczy znaczne rozbieżności wyników uzyskanych przy pomocy mikroskopu świetlnego i metody optycznej tomografii koherencyjnej. Badania Majkut i wsp. pokazały jednak, że istnieje silna korelacja pomiędzy wartościami grubości zębiny zmierzonej na obrazach micro-CT i OCT, pomimo większego rozmycia brzegów na obrazach z OCT (11, 12).

Inną często stosowaną przez badaczy metodą jest pomiar grubości pozostałej zębiny przy pomocy mikrometru. Badanie polega na wprowadzeniu jednego ramienia urządzenia do komory zęba, podczas gdy drugie ramię znajduje się w ubytku (13). Zasadniczym problemem tej metody jest niskie prawdopodobieństwo znalezienia rogów miazgi, w które można wprowadzić ramię mikrometru. Opiera się ono najczęściej o sklepienie komory, nie wnikać do szczytów rogów miazgi, co fałszuje wartość pomiaru. Wykorzystanie takiego sposobu pomiaru może wywołać bardzo duże fluktuacje wyników z uwagi na różnicę pomiędzy zmierzoną a realną wartością grubości, co utrudnia późniejsze porównywanie wyników badań. Kolejnym mankamentem jest konieczność szerokiego opracowania kanałów korzeniowych, a często również furkacji zębów wielokorzeniowych. Rozwiązaniem tego problemu jest opracowanie narzędziami wnętrza komory miazgi, tak aby nadać jej sklepieniu kształt płaski, lub wycinanie dysków zębinowych o określonej grubości (2). Taki sposób preparacji próbek jest bardzo precyzyjny i charakteryzuje się wysoką powtarzalnością, jednakże z powodu swojej inwazyjności doprowadza do zatracenia trójwymiarowej struktury komory zęba, wraz z jej wszystkimi właściwościami.

WNIOSKI

Porównanie pomiarów uzyskanych za pomocą CBCT z pomiarami pochodzącymi z micro-CT pokazało, że w przypadku 2 z 4 próbek istnieją duże istotne statystycznie różnice w zmierzonych wartościach. We wszystkich próbkach średnie wartości pomiarów uzyskanych z CBCT były większe niż wartości pochodzące z micro-CT. Badanie sugeruje, że CBCT nie jest wystarczającym narzędziem do uzyskania pewnego i precyzyjnego pomiaru odległości pomiędzy szczytem rogu miazgi a dnem ubytku. W przygotowaniu zębów do roli próbek badawczych korzystniejszym wyborem jest wykonywanie pomiarów na obrazach uzyskiwanych w badaniu micro-CT.

KONFLIKT INTERESÓW CONFLICT OF INTERESTS

Brak konfliktu interesów
No conflict

ADRES DO KORESPONDENCJI: CORRESPONDENCE

*Marek Mazur
Uniwersyteckie Centrum Stomatologii
ul. Binieckiego 6, 02-097 Warszawa
e-mail: marek.mazur@wum.edu.pl

cavity (13). The main limitation of this method is the low likelihood of finding pulp horns for the insertion of the micrometer arm. It most often leans against the roof of the chamber rather than reach the tips of the pulp horns, which contributes to false measurement results. The use of such a method may lead to significant fluctuations in the obtained results due to the difference between the measured and actual thickness, which makes it difficult to compare the obtained findings. The need for extensive preparation of root canals and often also furcation of multi-rooted teeth is another limitation. This problem can be solved by preparing the interior of the pulp chamber with tools to achieve a flat shape of its roof or by cutting out dentinal discs of a certain thickness (2). Although this method of sample preparation is highly precise and characterised by high repeatability, its invasiveness leads to the loss of the three-dimensional structure of the tooth chamber, along with all its properties.

CONCLUSIONS

The comparison of CBCT and micro-CT measurements showed large, statistically significant differences in the obtained values for two of the four specimens. In all samples, the mean values of the CBCT measurements were greater than those obtained with micro-CT. The study suggests that CBCT is not an adequate tool to obtain a reliable and precise measurement of the distance between pulp horn tips and the bottom of the cavity. Micro-CT measurement is a superior method for the preparation of teeth for the role of research specimens.

PIŚMIENICTWO/REFERENCES

1. Fernandez-Estevan L, Millan-Martinez D, Fons-Font A et al.: Methodology in specimen fabrication for *in vitro* dental studies: Standardization of extracted tooth preparation. *J Clin Exp Dent* 2017; 9(7): e897-e900.
2. Yasa E, Atalayin C, Karacolak G et al.: Intrapulpal temperature changes during curing of different bulk-fill restorative materials. *Dent Mater J* 2017; 36(5): 566-572.
3. Capar ID, Gok T, Uysal B, Keles A: Comparison of microcomputed tomography, cone beam tomography, stereomicroscopy, and scanning electron microscopy techniques for detection of microcracks on root dentin and effect of different apical sizes on microcrack formation. *Microsc Res Tech* 2019; 82(10): 1748-1755.

4. Mizutani R, Suzuki Y: X-ray microtomography in biology. *Micron* 2012; 43(2-3): 104-115.
5. Sousa-Neto MD, Silva-Sousa YC, Mazzi-Chaves JF et al.: Root canal preparation using micro-computed tomography analysis: a literature review. *Braz Oral Res* 2018; 32(suppl 1): e66.
6. Mangione F, Meleo D, Talocco M et al.: Comparative evaluation of the accuracy of linear measurements between cone beam computed tomography and 3D microtomography. *Ann Ist Super Sanita* 2013; 49(3): 261-265.
7. Tayman MA, Kamburoglu K, Kucuk O et al.: Comparison of linear and volumetric measurements obtained from periodontal defects by using cone beam-CT and micro-CT: an in vitro study. *Clin Oral Investig* 2019; 23(5): 2235-2244.
8. Ferrare N, Leite AF, Caracas HC et al.: Cone-beam computed tomography and microtomography for alveolar bone measurements. *Surg Radiol Anat* 2013; 35(6): 495-502.
9. Demirel A, Demirci O, Okte Z: Accuracy of In Vitro Radiographs in Determining the Remaining Dentin Thickness below Deep Dentin Caries in Deciduous Molars. *Balkan Journal of Dental Medicine* 2020; 24 (3): 18-153.
10. Suassuna FCM, Maia AMA, Melo DP et al.: Comparison of microtomography and optical coherence tomography on apical endodontic filling analysis. *Dentomaxillofac Radiol* 2018; 47(2): 20170174.
11. Krause F, Kohler C, Ruger C et al.: Visualization of the pulp chamber roof and residual dentin thickness by spectral-domain optical coherence tomography in vitro. *Lasers Med Sci* 2019; 34(5): 973-980.
12. Majkut P, Sadr A, Shimada Y et al.: Validation of Optical Coherence Tomography against Micro-computed Tomography for Evaluation of Remaining Coronal Dentin Thickness. *J Endod* 2015; 41(8): 1349-1352.
13. Savas S, Botsali MS, Kucukyilmaz E, Sari T: Evaluation of temperature changes in the pulp chamber during polymerization of light-cured pulp-capping materials by using a VALO LED light curing unit at different curing distances. *Dent Mater J* 2014; 33(6): 764-769.

nadesłano:

4.04.2022

zaakceptowano do druku:

18.04.2022