

## Diagnostic value of Cone-Beam Computed Tomography in diagnosing vertical root fractures in endodontically treated teeth – an *in vitro* study\*

### Wartość diagnostyczna tomografii komputerowej wiązki stożkowej w rozpoznawaniu pionowych złamań korzeni zębów leczonych endodontycznie. Badania *in vitro*\*

Oskar Armata, Elżbieta Bołtacz-Rzepakowska

Zakład Stomatologii Zachowawczej, Katedra Stomatologii Zachowawczej i Endodoncji, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Polska  
Department of Conservative Dentistry and Endodontics, Medical University of Lodz, Poland  
Head: dr hab. E. Bołtacz-Rzepakowska, prof. nadzw.

#### Abstract

**Introduction.** Vertical root fractures are frequently a cause of extraction of root filled teeth. Clinical and radiological diagnosis of such cases is very difficult. **Aim of the study.** To evaluate the effectiveness of imaging vertical root fractures of teeth with filled root canals by means of cone-beam computed tomography. **Material and methods.** Forty-eight bovine mandibular lateral incisors were used in the study, in which vertical root fractures were artificially created. After putting sections together root canals were prepared and filled. The teeth were scanned using the CS 9300 cone beam scanner (Carestream, USA) with the field of view 5 x 5 cm, with the resolution up to 90 µm. **Results.** In CBCT scans the first observer detected fracture lines in root filled teeth in 83.3% of cases and the second one in 66.7%. Radiographs of teeth with gutta-percha cones in root canals enabled the first observer to see 25% of fractures, and the second observer 16.7%. The inter-observer agreement expressed by the kappa coefficient equals 0.621 ( $p < 0.0005$ ). **Conclusions.** Cone-Beam tomography with small field of view and high resolution is significantly superior to radiographs in effective imaging of vertical root fractures in the presence of root canal filling.

#### Streszczenie

**Wprowadzenie.** Pionowe złamania korzeni zębów często są przyczyną ekstrakcji zębów leczonych endodontycznie. Diagnostowanie kliniczne i radiologiczne takich przypadków jest bardzo trudne. **Cel pracy.** Ocena skuteczności rozpoznawania pionowych złamań korzeni zębów z wypełnionymi kanałami korzeniowymi z wykorzystaniem tomografii komputerowej wiązki stożkowej. **Materiał i metody.** Do badań użyto 48 bydlęcych zębów siecznych. W zębach wygenerowano pionowe złamanie korzeni. Po sklejeniu odłamów kanały korzeniowe zostały opracowane i wypełnione. Zęby poddano badaniu za pomocą rtg oraz tomografii komputerowej wiązki stożkowej CS 9300 firmy Carestream. **Wyniki.** W zębach z wypełnionymi kanałami szczeliny złamania w badaniach CBCT rozpoznano prawidłowo odpowiednio w 83,3% oraz 66,7% przypadków przez obserwatorów. Radiogramy natomiast pozwoliły zobrazować 25% złamań przez pierwszego badacza i 16,7% przez drugiego. Zgodność obserwatorów jest wysoka (współczynnik Kappa Cohena wynosi 0,621). **Wnioski.** Tomograf wiązki stożkowej z małym polem obrazowania i wysoką rozdzielczością znacznie przewyższa zdjęcia rtg w skutecznym obrazowaniu złamań korzeni zębów z obecnością wypełnień kanałowych.

#### KEYWORDS:

Vertical Root Fracture (VRF), Cone-beam Computed Tomography (CBCT), root canal filling, diagnosis

#### HASŁA INDEKSOWE:

pionowe złamanie korzenia, tomografia komputerowa wiązki stożkowej, wypełnienie kanałowe, diagnostyka

\* Funded by 502-03/2-044-01/502-24-031 as provision of financial support for young researchers

\* Źródła finansowania: 502-03/2-044-01/502-24-031 w ramach dofinansowania młodych naukowców

Vertical root fracture (VRF) is a longitudinal fracture initiating in the crown or root of tooth.<sup>1</sup> This type of fracture most frequently concerns endodontically treated teeth and is caused by iatrogenic factors such as: undue pressure used during gutta-percha condensation and extensive root canal preparation for a post and core placement. Diagnosis of VRF is difficult and has been the subject of few publications in the literature. Many dental practitioners have difficulties in establishing a proper diagnosis and implementing an adequate therapeutic management, which results in quickly progressing periodontal destruction.

VRF diagnosis is usually based on radiographic imaging. Studies show that a fracture gap is visible on dental radiographs in one third of cases,<sup>2-4</sup> and according to the latest reports only in 19% of cases.<sup>5</sup> It results from the fact that a conventional X-ray is a two-dimensional shadow of three-dimensional structures. Thus, a summation image arises, which makes the identification of details difficult due to overlapping structures and the presence of artefacts. A fracture gap can be noticed on a radiograph only when a central ray of the X-ray beam passes along the gap.

These limitations do not concern cone-beam computed tomography (CBCT) which enables dental practitioners to view three-dimensional structures. Fast data acquisition, an option of adjusting the size of the field of view, and the possibility of simultaneous display of all slices make CBCT the tool that is more and more often used in dental diagnostics.

Literature data indicates that a VRF is one of the main reasons behind extraction of endodontically treated teeth,<sup>6,7</sup> therefore it seems reasonable to search for new diagnostic possibilities based on available imaging techniques.

### Aim of the study

The aim of the study is to evaluate the effectiveness of imaging vertical root fractures of teeth with filled root canals by the use of cone-beam computed tomography.

### Material and methods

Forty-eight bovine mandibular lateral incisors

Pionowe złamanie korzenia (ang. VRF – Vertical Root Fracture) jest to podłużnie przebiegające złamanie mające początek w koronie lub korzeniu zęba.<sup>1</sup> Ten rodzaj złamania najczęściej dotyczy zębów leczonych endodontycznie, a przyczyną są czynniki jatrogenne, takie jak: nadmierna siła używana podczas kondensacji gutaperki i zbyt rozległa preparacja kanału pod wkład koronowo-korzeniowy. Diagnostyka pionowego złamania jest trudna i jest tematem nielicznych publikacji w piśmiennictwie. Wielu lekarzy dentyków ma trudności z postawieniem właściwego rozpoznania i wdrożeniem odpowiedniego postępowania terapeutycznego, co skutkuje szybko postępującą destrukcją przyzębia.

Rozpoznanie VRF opiera się zwykle na obrazowaniu radiologicznym. Badania pokazują, że szczelina złamania jest widoczna na zdjęciu rtg zaledwie w 1/3 przypadków,<sup>2-4</sup> a według najnowszych doniesień tylko w 19% przypadków.<sup>5</sup> Wynika to z faktu, iż konwencjonalne zdjęcie rtg jest dwuwymiarowym cieniem trójwymiarowych struktur. Powstaje zatem obraz sumacyjny, który utrudnia identyfikację szczegółów z powodu nakładających się struktur oraz obecności artefaktów. Szczelina złamania jest widoczna na radiogramie tylko wówczas, gdy przechodzi przez nią promień centralny wiązki rentgenowskiej.

Ograniczenia te nie dotyczą tomografii komputerowej wiązki stożkowej, która pozwala na ukazanie struktur w trzech płaszczyznach. Szybkie uzyskanie danych, opcja ustawienia wielkości pola obrazowania oraz możliwość jednoczesnego wyświetlania na monitorze wszystkich przekrojów sprawiają, że tomografy CBCT stają się narzędziem, które jest coraz częściej wykorzystywane w diagnostyce stomatologicznej.

Z danych z piśmiennictwa wynika, że pionowe złamanie korzenia jest jedną z głównych przyczyn ekstrakcji zębów leczonych endodontycznie,<sup>6,7</sup> dlatego wydaje się uzasadnione poszukiwanie nowych możliwości diagnostycznych w oparciu na dostępnej technice obrazowania.

### Cel pracy

Celem pracy jest ocena skuteczności obrazowania pionowych złamań korzeni zębów, z wy-

were used in the study. The teeth were evaluated under a microscope to eliminate roots with cracks. After decoronating the teeth in the cemento-enamel junction, root canals were prepared with ProTaper rotary instruments to size F3.

Roots were randomly divided into four groups, two experimental (A and B) and two control ones (C and D). In group A and B, vertical fractures were induced in each root with a hammer and a tapered chisel, which was centrally located in the root canal. Next, fragments of each tooth were put together and tightly glued with a Scotch gel (Universal, 3M, Leiden, the Netherlands). In this way, the fracture gap width was below 0.1 mm. It was measured by means of an electronic calliper (Tesa Caliper IP67, 150 mm, Switzerland) with the measurement accuracy of 0.01 mm, which was confirmed by the calibration certificate no. AP302.1/12. The certificate has been issued by the Mikro Pomiar calibration laboratory, accredited by the Polish Centre for Accreditation. The measurements were performed in three fixed reference points on the root and were averaged. Root canals from group A and C were filled using laterally condensed gutta-percha and AH plus sealer (Dentsply– De Trey, Konstanz, Germany). Group B consisted of roots with artificial fractures without canal fillings, while group D included roots without fractures or canal fillings. Teeth of all groups were subject to radiographic and CBCT evaluation.

#### **Positioning of samples:**

Dental roots were placed in the alveolus of the human mandible. Both the mandibular body from the vestibular and lingual aspect, as well as the alveoli were covered with a layer of wax to simulate soft tissues and the periodontal ligament (Fig. 1).

#### **Volumetric scanning:**

Samples were scanned using the CS 9300 cone beam scanner (Carestream, USA) with a selectable field of view. The mandible was inserted at the centre of the scanning range according to X, Y, and Z lines, which provided repeatable conditions of visualization (Fig. 2). The smallest field of view

pełnionymi kanałami korzeniowymi, za pomocą tomografii komputerowej wiązki stożkowej.

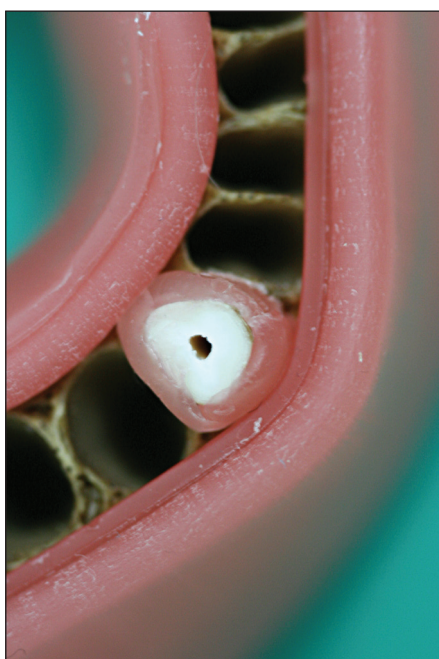
#### **Material i metody**

Do badań wykorzystano 48 zębów bydłych, siekaczy bocznych żuchwy. Zęby oceniono wcześniej pod mikroskopem, celem wyeliminowania korzeni z pęknięciami. Po odcięciu korony poniżej połączenia szklino-cementowego, kanały korzeniowe zostały opracowane maszynowymi narzędziami ProTaper do rozmiaru F3.

Korzenie podzielono losowo na cztery grupy, dwie eksperymentalne (A i B) i dwie kontrolne (C i D). W grupach A i B, w każdym z korzeni, wygenerowano złamanie pionowe przy użyciu wbijaka i zwężającego się dłuta umieszczonego centralnie w kanale korzeniowym. Następnie fragmenty każdego zęba złożono i ściśle skleiono za pomocą kleju (Scotch gel Universal, 3M, Leiden, The Netherlands). W ten sposób uzyskano szerokość szczeliny złamania poniżej 0,1 mm. Oceny szerokości szczeliny dokonano za pomocą suwmiarki elektronicznej (Tesa Caliper IP67, 150 mm, Switzerland) o dokładności pomiaru 0,01 mm, potwierdzonego świadectwem wzorcowania nr AP302.1/12, wydanym przez laboratorium wzorujące Mikro Pomiar akredytowane przez Polskie Centrum Akredytacji. Pomiaru dokonano w trzech wyznaczonych, stałych punktach referencyjnych korzenia, a następnie uśredniono. Kanały zębów z grup A i C wypełniono metodą bocznej kondensacji gutaperki z użyciem uszczelnacza AH plus (Dentsply– De Trey, Konstanz, Niemcy). Grupę B stanowiły korzenie z wypreparowanymi złamaniami bez wypełnienia w kanale, natomiast grupę D korzenie bez złamań i bez wypełnienia kanałowego. Zęby wszystkich grup poddano badaniu rtg i CBCT.

#### **Pozycjonowanie próbek**

Korzenie zębów zostały umieszczone w zębodole ludzkiej żuchwy. Zarówno trzon żuchwy, od strony przedsionkowej i językowej, jak i zębodół zostały pokryte warstwą wosku modelowego, celem symulowania tkanek miękkich i ożębnej (Fig. 1).

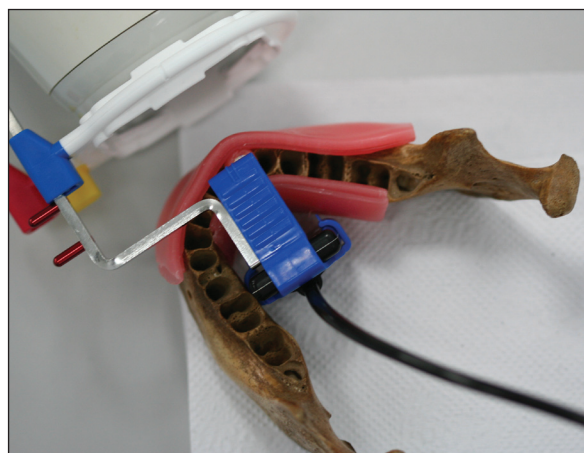


**Fig. 1.** A study model – human mandible with the dental root placed in the alveolus (a layer of wax covering the alveolus and the mandibular body imitates the periodontal ligament and soft tissues).

Model badawczy – ludzka żuchwa z korzeniem zęba umieszczonym w zębodole (warstwa wosku pokrywająca zębodół i trzon żuchwy imituje ozębną i tkanki miękkie).



**Fig. 2.** A volumetric CS 9300 cone beam scanner with the study model. Aparat wolumetryczny CS 9300 z modelem badawczym.



**Fig. 3.** Kodak 2200 Intraoral X-ray System and CCD sensor placed in the holder.

Aparat rtg Kodak 2200 z modelem badawczym i czujnikiem CCD umieszczonym w pozycjonerze.

(5 x 5 cm) with the resolution up to 90  $\mu\text{m}$  was used in the study. Volumetric data was recorded in DICOM 3 format, and images were analysed with compatible CS 3D Imaging Software. The evaluation was performed in axial, sagittal, frontal,

### **Skanowanie wolumetryczne**

Próbki skanowano przy użyciu tomografu CS 9300 firmy Carestream (Carestream, USA) ze zmiennym polem obrazowania. Żuchwa została umieszczona w centrum zakresu obrazowania tomografu, zgodnie z liniami X, Y, Z co zapewniło powtarzalne warunki wizualizacji (Fig. 2). W badaniach wykorzystano najmniejsze pole obrazowania 5 x 5 cm o rozdzielczości 90  $\mu\text{m}$ . Dane wolumetryczne zapisywano w formacie DICOM 3, a zdjęcia analizowano za pomocą kompatybilnego oprogramowania CS 3D Imaging Software. Oceny dokonano w przekrojach osiowych, strzałkowych, czołowych, transsektalnych i stycznych. Za szczelinę złamania uznawano przejaśnienie, którego granice nie przekraczały zarysu zęba i były widoczne, na co najmniej dwóch kolejnych przekrojach.<sup>8</sup>

### **Zdjęcia rtg**

Radiogramy cyfrowe wszystkich grup wykonano aparatem do zdjęć wewnątrzustnych Kodak 2200 + Kodak RVG 5100, pracującym przy sta-

transsectional, and contiguous slices. Translucency whose borders did not exceed the tooth outline and were visible on at least two subsequent sections was regarded as a fracture gap.<sup>8</sup>

### **Radiographs**

Digital radiographs of teeth from all groups were taken with the Kodak 2200 Intraoral X-ray System + Kodak RVG 5100 Digital Radiography System, operating at the fixed distance (25 cm) between the radiation source and a detector. A CCD sensor was placed in the holder, which additionally allowed investigators to maintain repeatability of the exposition (Fig. 3). Radiographs were analysed with compatible Kodak Dental Imaging Software. Translucency whose borders did not exceed the tooth outline was regarded as a fracture gap.

### **Evaluation of radiographs**

Radiographs and CBCT scans were evaluated according to the two-grade scale, where 0 was an invisible fracture, and 1 a visible fracture.

Two observers performed the evaluation on a 19-inch LCD monitor (NEC, USA). The time of observation was not limited. The inter-observer agreement was expressed by the kappa coefficient.

To compare the prevalence of visualized fracture gaps in the teeth with and without canal fillings, the chi-square test of independence or the Fisher's exact test was used (depending on the expected cell counts in the contingency table)<sup>9</sup> in the statistical analysis of the results. The level of significance was set at  $\alpha = 0.05$ .

Calculations were performed using SPSS Statistics version 22.

### **Results**

Fracture lines in the teeth without root canal fillings were visible in 95.83% of cases in the CBCT evaluation. The first observer properly identified all fractures, the second one 91.67% of them. In the case of radiographs, both observers stated the presence of fracture gaps in 33.3% of roots. In the teeth with canal fillings, the first observer noticed 83.3% of fractures in CBCT scans, and the second one in 66.7% of cases. Radiographs of teeth with gutta-percha cones in

też odległości pomiędzy źródłem promieniowania a detektorem, wynoszącej 25 cm. Czujnik CCD umieszczono w pozycjonerze do zdjęć rtg, co pozwoliło dodatkowo zachować powtarzalność ekspozycji (Fig. 3). Zdjęcia analizowano przy użyciu kompatybilnego oprogramowania Kodak Dental Imaging System. Za szczelinę złamania uznawano przejaśnienie, którego granice nie przekraczały zarysu zęba.

### **Ocena zdjęć**

Zdjęcia rtg oraz skany CBCT zostały ocenione wg 2-stopniowej skali, gdzie:

- 0 – złamanie niewidoczne
- 1 – złamanie widoczne.

Oceny dokonało dwóch obserwatorów na 19-calowym monitorze LCD (NEC, USA). Czas oceny nie był limitowany. Zgodność obserwatorów wyrażono za pomocą współczynnika Kappa Cohena.

W analizie statystycznej wyników badań do porównania częstości uwidocznienia szczeliny złamania w zębach bez wypełnienia i z wypełnieniem w kanale zastosowano test chi-kwadrat niezależności, albo dokładny test Fishera (w zależności od liczebności oczekiwanych w komórkach tablicy kontyngencji).<sup>9</sup> Dla zastosowanych testów przyjęto poziom istotności  $\alpha = 0,05$ .

Obliczenia wykonano w pakiecie SPSS ver. 22.

### **Wyniki**

Szczeliny złamania w zębach bez wypełnienia w kanale były widoczne w 95,83% przypadków w badaniach CBCT. Pierwszy obserwator rozpoznał prawidłowo wszystkie złamania, drugi 91,67% (Tab. 2). W przypadku zdjęć radiologicznych obaj obserwatorzy stwierdzili obecność szczeliny złamania w 33,3% korzeni (Tab. 5). W zębach z wypełnieniem w kanale pierwszy obserwator rozpoznał prawidłowo 83,3% złamań w badaniach CBCT, a drugi w 66,7% przypadków (Tab. 1). Radiogramy przy obecności gutaperki w kanale pozwoliły natomiast na zobrazowanie 25% złamań przez pierwszego badacza i 16,7% przez drugiego (Tab. 5).

Prawidłowe rozpoznania w grupach kontrolnych, gdzie korzenie nie były złamane, kształtowały się w następujący sposób. W grupie C (kana-

**Table 1.** Observation of the fracture line according to the plane of slices – teeth with root canal filling (group A) – I and II observer  
(+ fracture line visible, - fracture line not visible)

SLICES	Tooth											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Axial	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+
Frontal	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+
Sagittal	-	-	-	+	+	+	-	+	-	+	-	+
Transsectional	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+
Contiguous	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-

**Table 2.** Observation of the fracture line according to the plane of slices – teeth without root canal filling (group B) – I and II observer  
(+ fracture line visible, - fracture line not visible)

SLICES	Tooth																							
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
	observer	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	
Axial	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Frontal	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Sagittal	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	
Transsectional	+	-	-	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	
Contiguous	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	

**Table 3.** Observation of the fracture line according to the plane of slices – teeth with root canal filling (group C) – I and II observer  
(+ fracture line visible, - fracture line not visible)

SLICES	Tooth																							
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
	observer	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	
Axial	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	
Frontal	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	
Sagittal	-	-	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	
Transsectional	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-	
Contiguous	-	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	

root canals enabled the first observer to see 25% of fractures and the second observer 16.7%.

Proper recognition in control groups with non-fractured roots was as follows: in group C (canals filled with gutta-percha using the lateral condensation method) the first observer found 33.3% of fractures in CBCT scans, and the second one 41.7%. As regards radiographs, the first observer established a proper diagnosis in 66.7% of cases, and the second one in 58.3%. In group D (lack of fractures and fillings in canals) CBCT allowed both observers to make 100% of proper diagnoses, while in the case of radiographs it was possible in 75% of cases.

The comparison of the prevalence of visualised fracture gaps in teeth with and without canal fillings using CBCT and X-ray evaluation is presented in Table 6. Table data shows that the prevalence of improper decisions concerning the detection of VRFs in CBCT scans is statistically significantly lower than in the case of X-rays ( $p < 0.05$ ).

The inter-observer agreement for all the teeth expressed by the kappa coefficient is 0.7000 ( $p < 0.0005$ ). When the teeth with and without root canal fillings are distinguished, the kappa value equals 0.621 ( $p < 0.0005$ ) and 0.78 ( $p < 0.0005$ ), respectively. As can be seen, this agreement is high.

## Discussion

In the study bovine teeth were used. Bioethics Committees<sup>10,11</sup> and the International Standard Organisation ISO encourage investigators to use teeth of breeding animals because contrary to human teeth they are more comparable and easy to obtain. Moreover, a serious problem of cross infection is eliminated, which arises if human teeth are used. Studies on the comparison of physicochemical features and morphological structure of human and bovine teeth have confirmed the validity of using bovine teeth as a substitute for human teeth in some experimental investigations.<sup>12-15</sup> In the present experiment, bovine mandibular lateral incisors were selected since their size is similar to that of human teeth.

Digital recording of radiographs was used in the analysis. As shown by earlier reports, the efficacy

ły wypełnione metodą bocznej kondensacji gutta-perki) zdaniem pierwszego obserwatora złamania występowały w 33,3%, a wg drugiego w 41,7% badań CBCT (Tab. 3). Co do zdjęć rtg pierwszy badacz postawił prawidłowe rozpoznanie w 66,7% przypadków, a drugi w 58,3% (Tab. 5). W grupie D (brak złamania i wypełnienia w kanale) stwierdzono, co następuje: tomografia komputerowa wiązki stożkowej pozwoliła na postawienie 100% prawidłowych rozpoznań w przypadku obu badaczy (Tab. 4), natomiast na zdjęciach radiologicznych w 75% przypadków (Tab. 5).

Porównanie częstości uwidocznienia szczelin złamania za pomocą CBCT i rtg w zębach bez wypełnienia i z wypełnieniem kanałowym przedstawia tabela 6. Jak wynika z danych zawartych w tabeli częstość nieprawidłowych decyzji o rozpoznaniu złamania pionowego korzeni zębów w CBCT jest statystycznie istotnie mniejsza niż w rtg ( $p < 0,05$ ).

Zgodność obserwatorów wyrażona przy pomocy współczynnika Kappa Cohena dla wszystkich zębów wynosi 0,7000 ( $p < 0,0005$ ). Przy rozróżnieniu na zęby z wypełnieniem i bez wypełnienia w kanale korzeniowym wartość współczynnika wynosi odpowiednio: 0,621 ( $p < 0,0005$ ) oraz 0,78 ( $p < 0,0005$ ). Jak można zauważyć zgodność ta jest wysoka.

## Dyskusja

W badaniach wykorzystano zęby bydłecze. Komisje bioetyczne<sup>10,11</sup> i Międzynarodowa Organizacja Standardów ISO zachęcają do używania zębów zwierząt hodowlanych, ponieważ w przeciwieństwie do zębów ludzkich są one łatwe do pozyskania i bardziej porównywalne. Zostaje również wyeliminowany poważny problem, jakim jest zakażenie krzyżowe, pojawiające się przy wykorzystaniu zębów ludzkich. Badania dotyczące porównania cech fizyko-chemicznych i budowy morfologicznej zębów ludzkich i bydłeczych potwierdziły przydatność zębów zwierzęcych, jako substytutu zębów ludzkich w niektórych badaniach doświadczalnych.<sup>12-15</sup> W niniejszym eksperymencie wybraliśmy bydłecze zęby sieczne boczne żuchwy, ponieważ są wielkością zbliżone do ludzkich.

W analizie zastosowano cyfrowy zapis zdjęć

**Table 4.** Observation of the fracture line according to the plane of slices – teeth without root canal filling (group D) – I and II observer (+ fracture line visible, - fracture line not visible)

SLICES	Tooth											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Axial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Frontal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sagittal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Transsectional	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Contiguous	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Table 5.** Observation of the fracture line on dental radiographs – (group A, B, C, D) – I and II observer (+ fracture line visible, - fracture line not visible)

X-RAY observer	Tooth																							
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Group A	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	++	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Group B	-	-	-	-	++	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+
Group C	-	-	+	-	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-
Group D	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-

**Table 6.** The comparison of the prevalence of visualised fracture lines in teeth with and without canal fillings using CBCT and X-ray evaluation

X-ray			CBCT			p	Z	p in test	
incorrect	correct	%	incorrect	correct	%				
a	b	incorrect	c	d	incorrect				
9	3	75.0	2	10	16.7	0.111	4.547	0.004	VRF with rct I observer
10	2	83.3	4	8	33.3	0.130	3.637	0.013	VRF with rct II observer
8	4	66.7	0	12	0.0	0.088	5.757	0.0005	VRF without rct I observer
8	4	66.7	1	11	8.3	0.099	4.779	0.0031	VRF without rct II observer
3	9	25.0	0	12	0.0	0.061	2.554	0.0641	without VRF and without rct I observer
4	8	33.3	4	8	33.3	0.140	0.000	1.000	without VRF and with rct I observer
3	9	25.0	0	12	0.0	0.061	2.554	0.0641	without VRF and without rct II observer
5	7	41.7	5	7	41.7	0.152	0.000	1.000	without VRF and with rct II observer



of detecting VRF using this imaging technique is comparable to the recording on the radiographic film.<sup>16,17</sup> Functional value of different menu bar tools for the software of recording radiographs was evaluated by *Kamburoglu* et al.<sup>18</sup> The authors reported that the value was subjective as it mainly depended on the observer's experience, and the change in adjustment of image parameters did not significantly affect the VRF detection. This finding was confirmed by the results of the present study, in which a more experienced observer made more proper diagnoses. However, it was not a statistically significant difference and it did not influence the overall evaluation of efficacy of the radiological method.

Literature data indicates that the efficacy of VRF detection depends on the type of the CBCT system used.<sup>19,20</sup> In the present study, the best currently available cone beam CT with a selectable field of view and resolution of 90 µm was utilized. This was the CS9300 unit with parameters similar to the 3D ACCUITOMO 80 CBCT scanner whose sensitivity and specificity of scans, according to *Eldlund* et al.,<sup>20</sup> were 89% and 100%, respectively, as compared to 87% and 71% of those achieved by the iCAT CBCT unit. Other authors observed that an overall accuracy in detecting VRF in endodontically treated teeth was 91.9% for the 3D ACCUITOMO unit versus 68% for the NEWTOM 3G cone beam CT.<sup>2,19</sup>

Referring to the results obtained in particular groups, it should be noted that in teeth with artificial VRFs without canal fillings, CBCT allowed the observers to detect 95.85% of all fractures. Thus, CBCT significantly more often showed fracture gaps as compared to conventional radiodiagnostics, where the accuracy was 33.3%. The present findings have been confirmed by other reports. *Wang* et al.<sup>2</sup> observed that sensitivity of scans was much higher (97%) than that of X-rays (26.9%), similarly to *Hassan* et al.<sup>4</sup> who evaluated it as 80% and 47.5%, respectively.

Numerous authors emphasize low sensitivity of radiographs in detecting vertical fractures in endodontically treated teeth. *Patel* et al.<sup>5</sup> and *Chavda* et al.<sup>21</sup> stated that it stood at 0.19 and 0.15, respectively, and only 0.08<sup>4</sup> for vertical

rentgenowskich. Jak pokazały wcześniejsze badania, skuteczność wykrycia VRF tą techniką obrazowania jest porównywalna z zapisem na kliszy radiologicznej.<sup>16,17</sup> Wartość funkcyjną różnych narzędzi paska menu programu do zapisu zdjęć rentgenowskich ocenili *Kamburoglu* i wsp.<sup>18</sup> Autorzy stwierdzili, że jest ona subiektywna, gdyż zależy przede wszystkim od doświadczenia obserwatora, a zmiana ustawień parametrów obrazu nie wpływa znacząco na rozpoznanie VRF. Potwierdzają to wyniki naszych badań, gdzie bardziej doświadczony obserwator postawił więcej prawidłowych rozpoznań. Nie była to różnica istotna statystycznie i nie wpłynęła na ogólną ocenę skuteczności metody radiologicznej.

Z danych z piśmiennictwa wynika, iż skuteczność wykrywania VRF zależy od użytego systemu CBCT.<sup>19,20</sup> W niniejszym badaniu zastosowano najlepszy z dostępnych obecnie tomografów komputerowej wiązki stożkowej, o zmiennym polu obrazowania i rozdzielczości 90 µm. Jest to aparat CS9300 o parametrach zbliżonych do tomografu 3D ACCUITOMO 80, odnośnie którego *Eldlund* i wsp.<sup>20</sup> stwierdzili, że czułość i swoistość skanów CBCT wynosiła odpowiednio 89% i 100% względem 87% i 71% uzyskanych przy użyciu aparatu iCAT. Inni autorzy<sup>2,19</sup> zauważyli, że ogólna dokładność w wykrywaniu VRF w zębach leczonych i nieleczonych endodontycznie wynosiła 91,9% dla aparatu 3D ACCUITOMO w porównaniu do 68% dla tomografu NEWTOM 3G.

Odnosząc się do wyników uzyskanych w poszczególnych grupach należy zauważyć, że w zębach ze spreparowanymi złamaniami pionowymi bez wypełnienia w kanale, tomografia komputerowa wiązki stożkowej pozwoliła na wykrycie 95,85% wszystkich złamań. CBCT obrazuje więc istotnie częściej szczeliny złamania w porównaniu z konwencjonalną radiodagnostyką, gdzie skuteczność wyniosła 33,3%. Wyniki naszych badań znajdują potwierdzenie w piśmiennictwie. *Wang* i wsp.<sup>2</sup> stwierdzili, że czułość skanów była znacznie wyższa (97%) niż zdjęć rtg (26,9%), podobnie jak *Hassan* i wsp.<sup>4</sup> – odpowiednio 80% oraz 47,5%.

Wielu autorów podkreśla niską czułość zdjęć rtg w wykrywaniu pionowych złamań zębów leczonych endodontycznie. *Patel* i wsp.<sup>5</sup> oraz *Chavda*

fractures traversing in the mesiodistal direction. The authors think that such findings are affected by superimposed anatomical structures, noise of surrounding tissues and geometric deformations of conventional X-rays.

*Bernardes et al.*<sup>22</sup> indicated that CBCT detects 90% of VRFs in endodontically treated teeth in comparison with 10% of those visible on radiographs. *Wang et al.*<sup>2</sup> demonstrated that sensitivity of CBCT in visualization of vertical fracture gaps was 71.4% in the case of volumetric tomography, and only 25% in the case of X-rays. Such results are thought to be the consequence of the presence of gutta-percha in the canal lumen because on conventional radiographs the filling material superimposes the fracture line and masks its course.<sup>4,23,24</sup>

This observation has also been confirmed by the outcomes of the present study in which the fracture gap was visible only in 20.85% of radiographs. Furthermore, other authors noticed that the sensitivity of X-rays was reduced from 26.9% in non-endodontically treated teeth to 25% in teeth after root canal treatment,<sup>2</sup> and even from 52% to 28% according to findings of *Khedmat et al.*<sup>25</sup>

Authors of numerous studies emphasize that the root canal filling material also has an impact on the VRF detection in CBCT examinations. The star-shaped streak artefacts evidently decrease the sensitivity and specificity of CBCT scans.<sup>2,23,25,26</sup> They derive from radiopaque materials, such as gutta-percha and sealers used during canal filling, or metals. Image distortions in the form of streaks imitating fracture gaps may make the detection of VRFs difficult.

In the present study, the diagnostic effectiveness of detecting fractures in teeth without gutta-percha cones was on average 95.83%, while in roots with filled canals it was 75%. These outcomes have been confirmed by other reports. *Khedmat et al.*<sup>25,26</sup> detected 92% of VRFs in teeth without endodontic treatment as compared to 80% in endodontically treated teeth. The figures obtained by *Wang et al.*<sup>2</sup> were 97% and 71.4%, respectively.

However, it should be remembered that the software in CBCT examinations allows dental

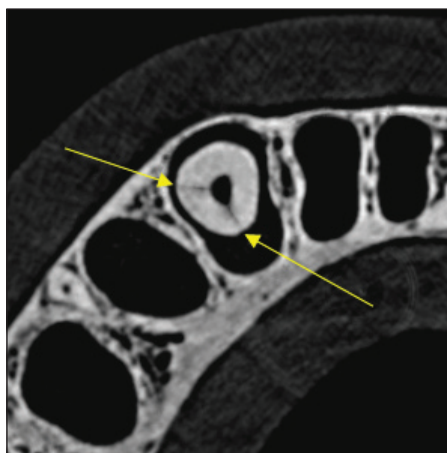
i wsp.<sup>21</sup> stwierdzili, że wyniosła ona odpowiednio 0,19 oraz 0,15; a w odniesieniu do złamań pionowych przebiegających w kierunku meziodystalnym tylko 0,08.<sup>4</sup> Autorzy są zdania, że na taki wynik wpływa wzajemne nakładanie się struktur anatomicznych, szумы otaczających tkanek oraz geometryczne zniekształcenia konwencjonalnych zdjęć rtg.

*Bernardes i wsp.*<sup>22</sup> stwierdzili, że CBCT wykrywa 90% VRF w zębach leczonych endodontycznie w porównaniu do 10% widocznych na radiogramach. *Wang i wsp.*<sup>2</sup> podają, że czułość CBCT w uwidocznieniu szczeliny pionowego złamania wynosi 71,4% w przypadku tomografii wolumetrycznej, a tylko 25%, jeżeli chodzi o zdjęcia rtg. Przyczyn takich rezultatów autorzy upatrują w obecności gutaperki w świetle kanału, ponieważ na konwencjonalnych radiogramach materiał wypełniający nakłada się na linię złamania maskując jej przebieg.<sup>4,23,24</sup>

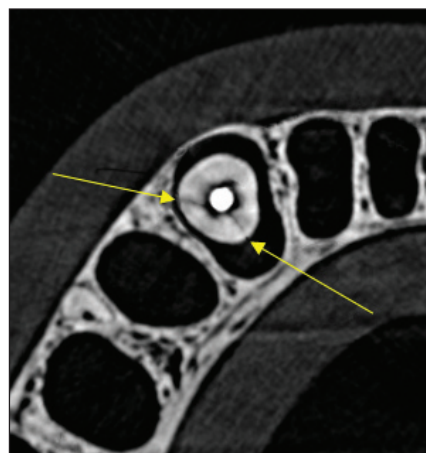
Fakt ten potwierdzają także wyniki naszych badań, gdzie szczelina złamania była widoczna za ledwie w 20,85% zdjęć rtg. Inni autorzy również zauważyli, że czułość zdjęć rtg zmniejsza się z 26,9% w zębach nieleczonych endodontycznie do 25% w zębach po leczeniu kanałowym,<sup>2</sup> a według *Khedmat i wsp.*<sup>25</sup> nawet z 52% do 28%.

Autorzy licznych prac podkreślają, że materiał wypełniający w kanale ma również wpływ na rozpoznanie VRF w badaniach CBCT. Artefakty przyjmujące postać gwiazdzistych rozbłysków wyraźnie obniżają czułość i swoistość skanów CBCT.<sup>2,23,25,26</sup> Artefakty pochodzą od cieniujących materiałów, takich jak gutaperka, uszczelniacze stosowane podczas wypełniania kanałów oraz metale. Zaburzenia obrazu w postaci rozbłysków imitujących szpary złamania powodują, że rozpoznanie pionowego złamania może być utrudnione.

Według naszych badań skuteczność diagnostyczna wykrywania złamań bez obecności gutaperki wynosiła średnio 95,83%, natomiast w korzeniach z wypełnieniem w kanale 75%. Wyniki te znajdują potwierdzenie w piśmiennictwie. *Khedmat i wsp.*<sup>25,26</sup> wykryli 92% pionowych złamań korzeni w zębach nieleczonych endodontycznie w porównaniu do 80% w zębach po leczeniu



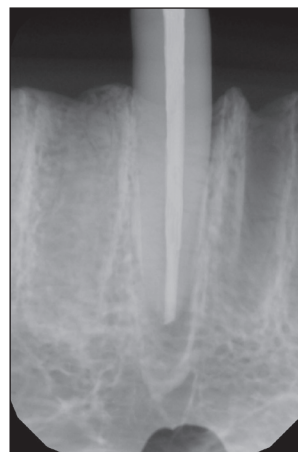
**Fig. 4.** Axial slice of tooth No. 8 without root canal filling – VRF visible. Przekrój czołowy zęba nr 8 bez wypełnienia w kanale – widoczna szczelina złamania.



**Fig. 5.** Axial slice of tooth No. 8 with root canal filling – VRF visible. Przekrój czołowy zęba nr 8 z wypełnieniem w kanale – widoczna szczelina złamania.



**Fig. 6.** X-ray of tooth No. 8 without root canal filling – VRF not visible. Zdjęcie rtg zęba nr 8 bez wypełnienia w kanale – szczelina złamania niewidoczna.

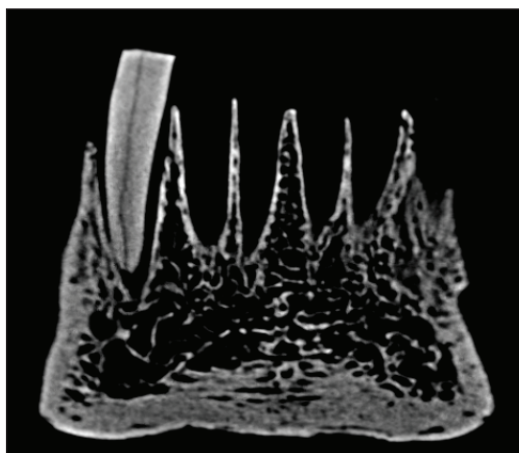


**Fig. 7.** X-ray of tooth No. 8 with root canal filling – VRF also not visible. Zdjęcie rtg zęba nr 8 z wypełnieniem w kanale – szczelina złamania niewidoczna.

practitioners to view teeth in at least five slices and different planes as well as from many angles, which in a significant way enables them to establish a proper diagnosis. Five slices: axial, frontal, sagittal, transsectional, and contiguous, and additionally the possibility of adjusting the plane of the X-ray beam path through a scanned object, make the confirmation of the presence of the fracture gap easier than on radiographs<sup>27,28</sup> (Fig. 4-11). The fracture visible on five, four, three or even two slices of a particular scan enables clinicians to make a proper diagnosis.

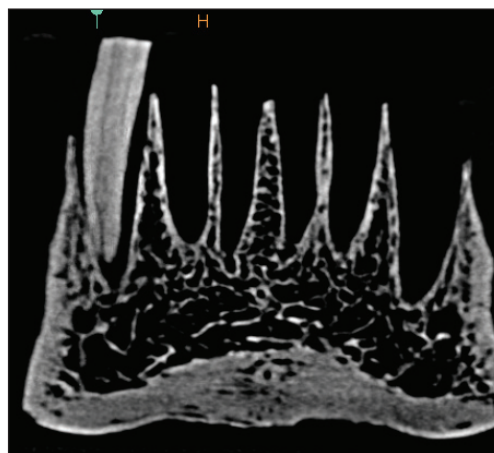
endodontycznym. Wyniki Wang i wsp.<sup>2</sup> wynoszą odpowiednio 97% i 71,4%.

Należy jednak pamiętać, że oprogramowanie dedykowane do badań CBCT pozwala na ukazanie zębów, w co najmniej 5 przekrojach, w różnych płaszczyznach i pod wieloma kątami, które w sposób znaczący ułatwiają postawienie prawidłowego rozpoznania. Pięć przekrojów: osiowy, czołowy, strzałkowy, transsektalny i styczny oraz dodatkowo możliwość ustawienia płaszczyzny przebiegu promieniowania X przez skanowany obiekt, powodują, że potwierdzenie obecności szczeliny



**Fig. 8.** Frontal slice of tooth No. 12 without root canal filling – VRF clearly visible.

Przekrój czołowy zęba nr 12 bez wypełnienia w kanale – dobrze widoczna szczelina złamania.



**Fig. 9.** Frontal slice of tooth No. 12 with root canal filling – VRF equally well visible.

Przekrój czołowy zęba nr 12 z wypełnieniem w kanale – równie dobrze widoczna szczelina złamania.



**Fig. 10.** X-ray of tooth No. 12 without root canal filling – VRF not visible.

Zdjęcie rtg zęba nr 12 bez wypełnienia w kanale – szczelina złamania niewidoczna.



**Fig. 11.** X-ray of tooth No. 12 with root canal filling – VRF also not visible.

Zdjęcie rtg zęba nr 12 z wypełnieniem w kanale – szczelina złamania również niewidoczna.

The present study, confirmed by the literature data, reveals that despite a disadvantageous impact of the canal filling on the detection of VRF, the accuracy of volumetric tomography is very high in comparison with radiographs. According to various publications, the sensitivity of CBCT scans ranges from 79.4 to 97%, and the specificity from 75% to 98%.<sup>4,19-21,23-25,29,30</sup> These findings corroborate the present study in which the prevalence of correct diagnoses in CBCT is statistically significantly higher than in X-rays ( $p < 0.05$ ). The sensitivity is 85.4% and the specificity 81.3%. Thus, the chance

złamania staje się łatwiejsze niż na zdjęciach rtg (Fig. 4-11).<sup>27,28</sup> Złamanie widoczne na 5, 4, 3 czy nawet dwóch przekrojach danego skanu, umożliwia postawienie właściwej diagnozy.

Nasze badania potwierdzone danymi z piśmiennictwa pokazują, że mimo niekorzystnego wpływu wypełnienia w kanale na wykrywanie pionowego złamania korzenia, skuteczność tomografii wolumetrycznej w porównaniu za zdjęciami rtg jest bardzo wysoka. Według różnych publikacji czułość skanów CBCT wynosi od 79,4 do 97%, a swoistość od 75% do 98%.<sup>4,19,20,21,23-25,29,30</sup>

of detecting a real VRF in the patient is 85.4%, and the likelihood that it will not be identified on scans in the patient without a fracture is 81.3%. In other words, VRF was confirmed on 85.4% of slices and a lack of a fracture on 81.3%.

Clinical implications of the present study should be emphasized. Rud and Ormnel<sup>3</sup> evaluated a large material, 375 cases of dental root fractures in total, and stated little validity of radiographs in establishing a correct diagnosis. The authors believe that when explicit clinical symptoms are missing, the diagnosis is based on the alveolar bone loss around the fractured tooth, which frequently suggests chronic periapical or marginal periodontitis. Other researchers add that 35.7% of VRF cases are detected only after the observation of segment separation, which can appear even one or two years later.<sup>31-33</sup> Therefore, CBCT scanning is a modality that allows dental practitioners to quickly recognize VRF. Moreover, no clinical signs and symptoms are necessary for evaluation of fractures on scans; they are useful, however, during radiographic diagnosis.

Hitherto *in vitro* studies, including the present research, have proven that volumetric tomography is much more effective in detecting VRFs than radiographic evaluation. However, it should be remembered that conditions of *in vitro* studies do not consider disadvantageous factors related to the patient, e.g., the possibility of the appearance of artefacts associated with the patient's movement during CBCT scanning.

## Conclusions

1. The study results showed that in the diagnosis of VRFs in teeth with filled canals, the diagnostic value of CBCT is significantly superior to radiographs.
2. The presence of gutta-percha in the canal did not significantly affect the diagnostic accuracy of CBCT and radiographic examinations.
3. The observer's experience did not play a significant role in diagnosing VRF.

Wyniki te potwierdzają badania własne, gdzie częstość prawidłowych rozpoznań w CBCT jest statystycznie istotnie większa niż w rtg ( $p < 0,05$ ). Czułość wynosi 85,4%, a swoistość 81,3%. Dane te potwierdzają, że szansa wykrycia rzeczywiście występującego pionowego złamania korzenia u pacjenta wynosi 85,4%, a prawdopodobieństwo, że u pacjenta bez złamania nie będzie ono wykryte na skanach 81,3%. Innymi słowy pionowe złamanie korzenia zostało potwierdzone na 85,4% przekrojów, a brak złamania na 81,3%.

Warto podkreślić implikacje kliniczne niniejszych badań. Rud i Ormnel,<sup>3</sup> oceniając duży materiał, 375 przypadków złamań korzeni zębów, stwierdzili małą przydatność zdjęć rtg w postawieniu prawidłowej diagnozy. Autorzy są zdania, że przy braku jednoznacznych objawów klinicznych rozpoznanie bazuje na utracie kości wyrostka zębodołowego wokół złamanego zęba, często sugerującego zresztą przewlekłe zapalenie przyzębia wierzchołkowego lub brzeżnego. Inni badacze dodają, że 35,7% przypadków pionowych złamań korzeni zębów zostaje rozpoznanych dopiero po stwierdzeniu separacji odłamów, która może wystąpić nawet po upływie 1 lub 2 lat.<sup>31-33</sup> Tomografia CBCT jest więc metodą, która znacznie szybciej pozwala na rozpoznanie pionowego złamania korzenia. Dodatkowo do oceny złamania na skanach nie muszą zaistnieć żadne z objawów klinicznych, które są przydatne przy diagnozowaniu za pomocą zdjęć rtg.

Przeprowadzone do tej pory badania *in vitro*, w tym także nasze, udowadniają, że w wykrywaniu pionowych złamań korzeni zębów tomografia wolumetryczna jest znacznie bardziej skuteczna niż ocena radiologiczna. Trzeba jednak zaznaczyć, że warunki badań *in vitro* nie uwzględniają niekorzystnych czynników ze strony pacjenta, np. możliwości wystąpienia artefaktów związanych z poruszeniem się osoby badanej w trakcie skanowania CBCT.

## Wnioski

1. Wyniki badań pokazały, że w wykrywaniu pionowych złamań korzeni zębów z wypełnionymi kanałami wartość diagnostyczna CBCT znacznie przewyższa zdjęcia rtg.

2. Obecność gutaperki w kanale nie wpłynęła znacząco na skuteczność diagnostyczną w badaniach CBCT i badaniach radiologicznych.
3. Doświadczenie obserwatora nie odegrało istotnej roli w diagnozowaniu pionowych złamań korzeni zębów.

## References

1. Hannig C, Dullin C, Hülsmann M, Heidrich G: Three-dimensional, non-destructive visualization of vertical root fractures using flat panel volume detector computer tomography: an ex vivo in vitro case report. *Int Endod J* 2005; 38: 904-913.
2. Wang P, Yan XB, Lui DG, Zhang WL, Zhang Y, Ma XC: Detection of dental root fractures by using cone-beam computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 2011; 40: 290-298.
3. Rud J, Omnell KA: Root fractures due to corrosion: diagnostic aspects. *Scand J Dent Res* 1970; 78: 397-403.
4. Hassan B, Metska ME, Ozok AR, van der Stelt P, Wesselink PR: Detection of vertical root fractures in endodontically treated teeth by a cone beam computed tomography scan. *J Endod* 2009; 35: 719-722.
5. Patel S, Brady E, Wilson R, Brown J, Mannocci F: The detection of vertical root fractures in root filled teeth with periapical radiographs and CBCT scans. *Int Endod J* 2013; 46: 1140-1152.
6. Chen SC, Chueh LH, Hsiao CK, Wu HP, Chiang CP: First untoward events and reasons for tooth extraction after non surgical endodontic treatment in Taiwan. *J Endod* 2008; 34: 671-674.
7. Fuss Z, Lustig J, Tamse A: Prevalence of vertical root fractures in extracted endodontically treated teeth. *Int Endod J* 1999; 32: 283-286.
8. Różyło-Kalinowska I, Różyło TK: Tomografia komputerowa wiązki stożkowej w diagnostyce pionowego złamania korzeni zębów – badanie in vitro. *Czas Stomatol* 2010; 63: 191-198.
9. Woolson RF: *Statistical Methods for the Analysis of Biomedical Data*. New York: John Wiley & Sons Inc; 1987. p. 204-238.
10. Camargo CHR, Siviero M, Camargo SE, de Oliveira SH, Carvalho CA, Valera MC: Topographical, diametral and quantitative analysis of dentine tubules in the root canals of human and bovine teeth. *J Endod* 2007; 33: 422-426.
11. Tanaka JLO: Comparative analysis of human and bovine teeth: radiographic density. *Braz Oral Res* 2008; 22: 346-351.
12. Olek A: Analiza porównawcza morfologii i cech fizyko-chemicznych szkliwa i zębiny stałych zębów ludzkich, bydłęcych i świńskich. *Badania in vitro. Rozprawa doktorska*. Łódź: Uniwersytet Medyczny; 2012.
13. Saleh F, Taymour N: Validity of using bovine teeth as a substitute for human counterparts in adhesive tests. *East Mediter Health J* 2003; 9: 201-207.
14. Fonseca RB, Haiter-Neto F, Carlo HL, Soares CJ, Sinhoreti MAC, Puppini-Rontani RM, et al.: Radiodensity and hardness of enamel and dentin of human and bovine teeth, varying bovine teeth age. *Arch Oral Biol* 2008; 53: 1023-1029.
15. Camargo MA, Marques MM, de Cara AA: Morphological analysis of human and bovine dentine by scanning electron microscope investigation. *Arch Oral Biol* 2008; 53: 105-108.
16. Hannig C, Dullin C, Hülsmann M, Heidrich G: Three-dimensional, nondestructive visualization of vertical root fractures using flat panel volume detector computer tomography: an ex vivo in vitro case report. *Int Endod J* 2005; 38: 904-913.
17. White SC: Cone-beam imaging in dentistry. *Health Physics* 2008; 95: 628-637.
18. Kamburoglu K, Murat S, Yuksel SP: Detection of vertical root fracture using conebeam computerized tomography: an in vitro assessment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010; 109: e74-81.
19. Metska ME, Aartman IH, Wesselink PR, Özok AR: Detection of vertical root fractures in vivo in endodontically treated teeth by cone-beam

- computed tomography scans. *J Endod* 2012; 38: 1344-1347.
20. *Edlund M, Nair MK, Nair UP*: Detection of vertical root fractures by using cone-beam computed tomography: a clinical study. *J Endod* 2011; 37: 768-772.
21. *Chavda R, Mannocci F, Andiappan M, Patel S*: Comparing the in vivo diagnostic accuracy of digital periapical radiography with cone-beam computed tomography for the detection of vertical root fracture. *J Endod* 2014; 40: 1524-1529.
22. *Bernardes RA, Moraes IG, Húngaro Duarte MA, Azevedo BC, de Azevedo JR, Bramante CM*: Use of cone-beam volumetric tomography in the diagnosis of root fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009; 108: 270-277.
23. *Wenzel A, Neto-Haiter F, Frydenberg M, Kirkevang L-L*: Variable-resolution conebeam computerized tomography with enhancement filtration compared with intraoral photostimulable phosphor radiography in detection of transverse root fractures in an in vitro model. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009; 108: 939-945.
24. *Melo SL, Bortoluzzi EA, Abreu M Jr, Corrêa LR, Corrêa M*: Diagnostic ability of a cone-beam computed tomography scan to assess longitudinal fractures in prosthetically treated teeth. *J Endod* 2010; 36: 1879-1882.
25. *Khedmat S, Rouhi N, Drage N, Shokouhinejad N, Nekoofar M*: Evaluation of three imaging techniques for the detection of vertical root fractures in the absence and presence of gutta-percha root fillings. *Int Endod J* 2010; 45: 1004-1009.
26. *Hassan B, Metska ME, Ozok AR*: Comparison of five cone beam computed tomography systems for the detection of vertical root fractures. *J Endod* 2010; 36: 126-129.
27. *Tyndall DA, Kohltfarber H*: Application of cone beam volumetric tomography in endodontics. *Aust Dent J* 2012; 57: 72-81.
28. *Durack C, Patel S*: Cone beam computed tomography in endodontics. *Braz Dent J* 2012; 23: 179-191.
29. *Özer SY*: Detection of vertical root fractures of different thicknesses in endodontically enlarged teeth by cone beam computed tomography versus digital radiography. *J Endod* 2010; 36: 1245-1249.
30. *da Silveira PF, Vizzotto MB, Liedke GS*: Detection of vertical root fractures by digital radiographic examination and cone beam computed tomography – an in vitro analysis. *Dent Traumatol* 2013; 29: 41-46.
31. *Youssefzadeh S, Gahleitner A, Dorffner R, Bernhart T, Kainberger FM*: Dental vertical root fractures: value of CT in detection. *Radiology* 1999; 210: 545-549.
32. *Mora MA, Mol A, Tyndall DA, Rivera EM*: In vitro assessment of local computed tomography for the detection of longitudinal tooth fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007; 103: 825-829.
33. *Tamse A*: Iatrogenic vertical root fractures in endodontically treated teeth. *Endod Dent Traumatol* 1988; 4: 190-196.

Address: 92-213 Łódź, Pomorska 251  
Tel.: +4842 6757457  
e-mail: oskararmata@gmail.com

Received: 20<sup>th</sup> December 2015  
Accepted: 3<sup>rd</sup> March 2016