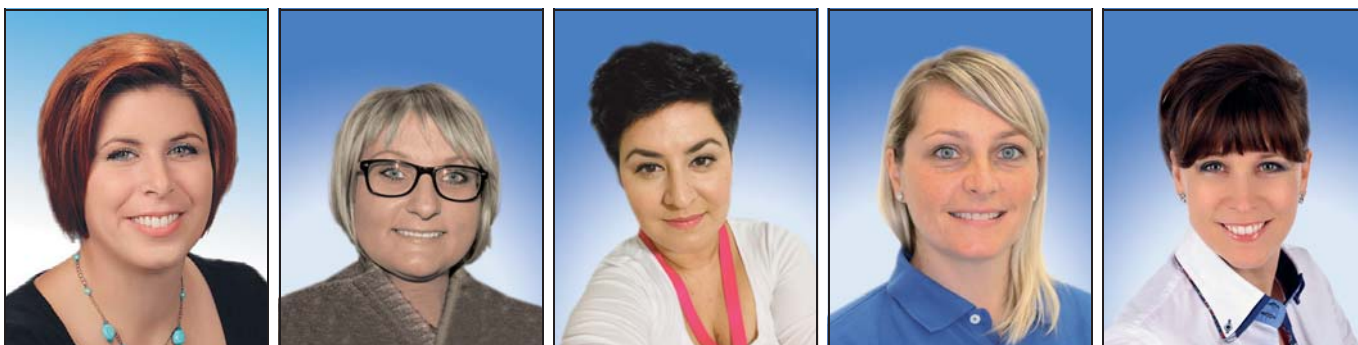


Dvoudimenzionální versus trojdimenzionální měření polohy palatinálně retinovaných špičáků. Část II. Úhlová měření

2D vs. 3D measurement of position in palatally impacted canines. Part II. Angular measurements



*MUDr. Ivana Dubovská, Ph.D., *MDDr. Iva Voborná, Ph.D., *MUDr. Eva Míšová, Ph.D.,

*MUDr. Eva Sedlatá Jurásková, Ph.D., **MUDr. Wanda Urbanová, Ph.D.

*Klinika zubního lékařství Lékařské fakulty Palackého univerzity a FN Olomouc

*Institute of Dentistry and Oral Sciences, Faculty of Medicine and Dentistry, Palacky University and University Hospital in Olomouc

**Oddělení ortodontie a rozštěpových vad, Stomatologická klinika 3. LF UK FNKV

**Department of Orthodontics and Cleft Anomalies, Clinic of Stomatology, 3rd Medical Faculty, Charles University, University Hospital Královské Vinohrady

Souhrn

Cíl: Cílem studie bylo zjištění míry vzájemné zastupitelnosti 3 různých digitálních rentgenogramů pro určování polohy retinovaných horních špičáků pomocí úhlových měření.

Materiál a metodika: Byli vybráni pacienti s retencí horního špičáku, kde byl před léčbou indikován OPG a CBCT snímek, které byly zhotoveny s časovým odstupem maximálně dvou týdnů. CBCT snímek byl zhotoven u 43 pacientů s 51 palatinálně retinovanými špičáky. Byl měřen úhel dlouhé osy retinovaného špičáku k okluzní a vertikální rovině na OPG, CBCT a OPG generovaném z CBCT. Ke zjištění spolehlivosti měření na digitálních rentgenových snímcích a ke zjištění míry vzájemné zastupitelnosti digitálních rentgenogramů zhotovených třemi různými způsoby, byla hodnocena opakovatelnost a reprodukovatelnost měření. Opakovatelnost měření byla kvantifikována technickou chybou měření metodou dle Dalhberga a z ní odvozenou relativní chybou měření. Reprodukovatelnost měření byla kvantifikována koeficientem opakovatelnosti podle Blanda a Altmana spolu s grafickou vizualizací výstupu Bland-Altmanovými rozdílovými grafy.

Výsledky: Provedená studie prokázala dobrou a klinicky uspokojivou míru opakovatelnosti určení polohy špičáků pomocí úhlových charakteristik pro OPG, CBCT a OPG generované z CBCT. Testy reprodukovatelnosti měření prokázaly špatnou a klinicky nedostatečnou reprodukovatelnost měření mezi rentgenogramy zhotovenými různou technikou z hlediska určení polohy retinovaných špičáků vůči referenčním rovinám pomocí úhlových rozměrů. Největší rozdíl měření sklonu špičáku od vertikální referenční linie/rovinu byl zaznamenán mezi vlastním CBCT zobrazením a OPG zobrazením generovaným z CBCT (soustavná chyba 16,3°). Mezi OPG zhotoveným na 2D rtg přístroji a CBCT byla zjištěna soustavná chyba 11,0°. 2D OPG rentgenogramy a OPG generované z CBCT měly soustavnou chybu pouze 5,3°. U měření sklonu špičáku od okluzní roviny byl největší rozdíl zaznamenán mezi vlastním CBCT zobrazením a OPG zobrazením generovaným z CBCT (soustavná chyba 16,8°). Mezi OPG zhotoveným na 2D rentgenogramu a CBCT je soustavná chyba 14,7°. Rentgenogramy zhotovené na 2D OPG a generované z CBCT měly soustavnou chybu pouze 2,1°. Výsledky měření prokázaly velkou a klinicky podstatnou soustavnou odchylku (bias) naměřených hodnot u úhlových měření mezi trojdimenzionálním snímkem čelistí zhotoveným na CBCT a mezi dvoudimenzionálním OPG zhotoveným na digitálním orthopantomografu nebo počítačově generovaným z CBCT snímkem.

Závěr: Dvoudimenzionální a trojdimenzionální zobrazovací techniky dávají rozdílné výsledky u měření pozice retinovaného špičáku pomocí úhlových parametrů, proto nejsou zaměnitelné. Závěry odborné literatury, kde byly informace o poloze špičáku získány pomocí dvoudimenzionálních rentgenologických metod, nemohou být automaticky aplikovány u CBCT (Ortodoncie 2021, 30, č. 1, s. 19-33).

Abstract

Aim: The aim of the study is to compare and assess 3 different types of digital radiographs used to determine the position of upper impacted canines by means of angular measurements.

Material and method: We selected patients with palatally impacted canines in which OPG and CBCT scans were made within the interval of maximum two weeks. CBCT scans were made in 43 patients with 51 palatally impacted canines. The angle between the long axis of impacted canine and the occlusal and vertical plane was measured in OPG, CBCT and OPG generated from CBCT. To assess reliability of measurements in digital radiographs and to determine the mutual substitutability of the digital radiographs obtained by three different techniques we evaluated repeatability and reproducibility of measurements. Repeatability was quantified by technical error of measurement according to Dahlberg and derived relative measurement error. Reproducibility was quantified by repeatability coefficient according to Bland and Altman with graphic representation of the outcome by Bland-Altman plots.

Results: The experiment showed a good and clinically sufficient repeatability of canines location determination using angular parameters in OPG, CBCT and OPG generated from CBCT. Measurement reproducibility tests proved poor and clinically insufficient reproducibility of measurements between radiographs made with different techniques for determination of impacted canines position to the reference planes using angular parameters. The greatest difference in measurements of canine inclination to the vertical reference line/plane was found between CBCT scans and OPGs generated from CBCT (systematic error of 16.3°). The systematic error between 2D OPG and CBCT was 11.0°. The systematic error between 2D OPGs and OPGs generated from CBCT was only 5.3°. In measurements of canine inclination to the occlusal plane the greatest difference was found between CBCT and OPG generated from CBCT (systematic error of 16.8°). The systematic error between 2D OPG and CBCT was 14.7°. The systematic error between 2D OPG and OPG generated from CBCT was only 2.1°. The results showed a great and clinically significant systematic deviation (bias) between 3D scans of jaws made on CBCT and 2D OPG or OPG generated from CBCT scan.

Conclusion: 2D and 3D imaging methods give different results for impacted canine position measured with angular parameters, and therefore, they are not substitutable. Conclusions found in the literature where the information on canine position was obtained with 2D radiographs cannot be applied in CBCT automatically (Ortodoncie 2021, 30, No. 1, p. 19-33).

Klíčová slova: retinované špičáky, ortopantomogram, OPG, CBCT, generované OPG

Key words: impacted canines, orthopantomogram, panoramic x-ray, CBCT, generated OPG

Úvod

Včasná a přesná diagnostika pozice zárodků horních špičáků je důležitá pro prevenci retence, a pokud tato situace hrozí, i k určení možností léčby. Při suspektní retenci špičáků umožňuje odhad prognózy a délky terapie, volbu optimálního léčebného postupu a redukci komplikací [13, 18].

Přesná lokalizace retinovaného špičáku je potřebná pro správnou diagnózu, určení přesného chirurgického přístupu a plánování směru aktivního tahu [18]. Nejčastěji používaným rentgenovým zobrazením první volby je OPG. S nízkou radiační zátěží zobrazuje přehledně situaci v obou čelistech: znázorňuje pozici špičáku vzhledem k okolním zubům; umožňuje odhalit numerické anomálie zubů; vykresluje čelistní dutinu a její vztah k retinovanému špičáku, čelistní klouby a další struktury. Retence špičáku je často odhalena právě touto zobra-

Introduction

The early and correct diagnosis of the position of upper canines germs is important to prevent impaction and adopt a suitable treatment plan. The estimation of prognosis and length of therapy leads to adoption of the optimum treatment and eliminates complications [13, 18].

Precise location of impacted canine is necessary for the correct diagnosis, adoption of surgical method and planning of the direction of the active traction [18]. OPG is the most frequently used method of imaging. It gives a good overview of the situation in both jaws, and radiation load is low: it gives a canine position in relation to other teeth, it makes possible to reveal anomalies in the number of teeth, it represents found and its relationship to the impacted canine, jaw joints and other structures. Canine impaction is very often maxillary sinus by this

zovací technikou [1]. I když v různých zemích existují různé postupy a výběrová kritéria, ortodontisté často vyžadují OPG a kefalometrický snímek pro stanovení léčebného plánu [2]. Diagnostická přesnost a validita lokalizace retinovaného špičáku a přilehlých struktur na OPG může být snížena kvůli nepřesnostem jako jsou distorzní chyby projekce, neostrý obraz a překrývání komplexu maxilofaciálních struktur, které jsou zobrazeny dvoudimenzionálně, a tedy zvyšují riziko špatného vyhodnocení [3]. OPG snímek má projekční chybu proto, že hlavní rtg paprsek během zhotovení OPG přichází z mírně negativního úhlu [4]. Z důvodu nemožnosti zobrazení vestibulopalatinálního rozměru je k diagnostice polohy špičáku potřebný další snímek, nejčastěji je využíván laterální kefalometrický snímek, okluzogram nebo periapikální snímky. Pro pouhé zjištění vestibulární, nebo palatinální pozice není CBCT dle směrnic evropské unie indikováno [5]. Zhotovení CBCT je vyžadováno u specifických případů, kdy konvenční radiologie neposkytuje dostatečnou informaci pro přesnou diagnostiku, kterými jsou resorpce kořenů sousedních zubů, retence dalších zubů, cysty, nepřehledná anatomická situace, přespočetné zuby nebo problémy s dýchacími cestami [5]. CBCT poskytuje detailnější informace, protože projekce paprsku je ortogonální, což znamená, že rtg paprsky jsou navzájem téměř paralelní a zobrazovaný objekt je blízko senzoru [6], což vysvětluje, proč je chyba projekce malá a výsledný 3D obraz je bez skreslení. CBCT je považováno za nejpřesnější metodu lokalizace retinovaného zubu [5], avšak je spojeno s větší celkovou efektivní dávkou záření než konvenční radiologie. Radiační efektivní dávka CBCT je v rozsahu 11 do 252 μSv pro malé, 28 až 652 μSv pro střední a 52 až 1073 μSv pro velké FOV [7]. Radiační dávka CBCT je minimálně 2-4krát vyšší než u OPG, u kterého je 4,7 - 14,9 μSv [8]. Dle Serranta byla správně lokalizovaná poloha retinovaného špičáku - vestibulární nebo palatinální na CBCT ve 94 % případů [9]. U horizontální paralaxy (dva i.o. rtg snímky) v 84 % a u vertikální paralaxy (OPG a okluzní snímek) pouze v 65 % případů.

Použitý typ radiologické techniky může ovlivnit plán léčby. Dle Haneyho et al. [6] došlo ke změně léčebného plánu u 27 % pacientů po doplnění CBCT vyšetření, dle Wriedt et al. [10] u 18 %. Požadavek dalších snímků pro určení přesné diagnózy byl vznesen více u tradičních rentgenologických snímků (27 %) než u CBCT (12 %). Dle Wriedt et al. [10] u 64 % pacientů byla pozice retinovaného špičáku hodnocena shodně na 2D i 3D. Naopak Pittayapat et al. [2] potvrdili velice malou shodu mezi OPG a CBCT v lokalizaci retinovaného špičáku.

Cíl práce

Cílem studie bylo zjištění míry vzájemné zastupitelnosti tří různých digitálních rentgenogramů pro určo-

technique [1]. Though there exist different procedures in different countries, orthodontists often require OPG and cephalogram to establish the treatment plan [2]. Precise diagnosis and valid location of impacted canine and its adjacent structures in OPG may be disturbed due to imperfections such as distortion errors of projection, imperfectly sharp picture and superimposition of maxillofacial structures which are taken by 2D techniques and, thus, the risk of poor assessment is higher [3]. The projection error of OPG is due to the fact that the main beam comes from a slightly negative angle during OPG [4]. Vestibulopalatal dimension cannot be depicted and, therefore, to determine a canine position another scan is needed (most often lateral cephalogram, occlusogram, or periapical scans). According to EU directives to determine vestibular or palatal position CBCT is not indicated [5]. CBCT is required in specific cases where traditional radiology cannot provide sufficient information for precise diagnostics, i.e. resorption of roots of adjacent teeth, impaction of other teeth, cysts, unclear anatomical situation, supernumerary teeth or problems with airways [5]. CBCT gives more detailed information, because the beam projection is orthogonal, i.e. beams run almost parallel and the object is close to a sensor [6], and therefore, the projection error is small and the resulting 3D image is without bias. CBCT is the most accurate method of impacted tooth location [5], however, the effective radiation load is higher. Effective radiation dose of CBCT is within 11 and 252 μSv for small, 28 and 652 μSv for medium, and 52 and 1073 μSv for big FOV [7]. CBCT radiation dose is at least 2-4 times bigger than in OPG, where it is between 4.7 and 14.9 μSv [8]. According to Serrant, the correct position of impacted canine determined with CBCT - vestibular or palatal - was found in 94% of cases [9]; in horizontal parallax (two radiographs) in 84%, and in vertical parallax (OPG and occlusogram) only in 65% of cases.

The radiographic technique used may affect the treatment plan. According to Haney et al. [6] the treatment plan was revised in 27% of patients after additional CBCT, according to Wriedt et al. [10] in 18% of patients. The need for additional scans in order to make the diagnosis was more frequent in case of traditional radiographs (27%) than CBCT (12%). According to Wriedt et al. [10] the position of impacted canine was assessed identically in 2D and 3D scans in 64% of patients. On the contrary, Pittayapat et al. [2] report a very weak agreement between OPG and CBCT for the impacted canine location.

The aim of the study

The aim of the presented study was to determine the mutual substitutability of the three different digital

vání polohy retinovaných horních špičáků pomocí angulárních rozměrů.

Materiál

Soubor tvořili pacienti ortodontického oddělení Kliniky zubního lékařství LF UP a FN Olomouc a Stomatologické kliniky UK a FN Hradec Králové. Ze všech pacientů ortodontického oddělení byli vybráni pacienti s retencí horního špičáku. Dentální nebo skeletální klasifikace neměla vliv na zařazení do souboru. Syndromoví pacienti, nebo pacienti s aplázií byli ze souboru vyloučeni. Ze 420 konsekutivních pacientů s retencí špičáku mělo palatinální retenci špičáku 62 pacientů. 8 pacientů mělo oboustranně retinované špičáky, jednostranná pravostranná retence byla u 19 pacientů, levostranná u 16. Celkově bylo tedy posuzováno 51 palatinálně retinovaných špičáků. Odlehle hodnoty - u úhlu k vertikální linii 3, u úhlu k okluzní rovině 2, byly z hodnocení vyloučeny. Kritéria pro zařazení do souboru, tj. dobře čitelné OPG i CBCT snímky bez artefaktů s dostatečným FOV zhotovené s časovým odstupem maximálně dvou týdnů, splňovalo 43 pacientů. Celkově bylo v souboru 17 mužů (39,5 %) a 26 žen (60,5 %). Průměrný věk pacientů byl 18 let 8 měsíců (SD \pm 8,6 let, minimum 9 let 11 měsíců, maximum 42 let 3 měsíce).

OPG i CBCT snímky byly zhotoveny na Planmeca Pro Max, (Planmeca). OPG snímky byly zhotoveny při dávce záření 68 kVp, proud rentgenky byl 10 mA. CBCT snímky byly zhotoveny při dávce záření 84 kVp, proud rentgenkou byl 12 mA, tloušťka řezu 0,2 mm, ukládání ve formátu DICOM 3.

Metodika

Na třech různých formátech RTG zobrazení (OPG, OPG generované z CBCT a CBCT) byla hodnocena poloha retinovaných špičáků pomocí úhlových parametrů.

Měření na OPG byla realizována v programu DfW Digora pro Windows (SoredexTM).

Snímky CBCT byly hodnoceny v programu EZ3D plus premium (VatechTM). Před další manipulací s CBCT snímky byly jednotlivé snímky orientovány dle referenčních rovin. Horizontální rovina probíhala okluzní rovinou procházející horním řezákovým bodem a meziálními hrbolky horních prvních molárů (Obr. 3). Vertikální rovina probíhala středem úhlu dlouhých os horních stálých řezáků, probíhala podél raphe palati přes spina nasalis anterior a posterior (Obr. 2). Sagitální rovina probíhala řezákovým bodem. Horizontální, vertikální a sagitální rovina byly navzájem kolmé. Vycentrovaný snímek byl uložen a použit pro generování OPG a jednotlivá měření.

Generovaný OPG snímek byl vytvořen v programu EZ3D Plus premium z CBCT snímku po reorientaci ro-

radiographs for the identification of impacted upper canines location with angular parameters.

Material

The sample included patients of the Department of Orthodontics, Institute of Dentistry of Faculty of Medicine and Dentistry, Palacky University and University Hospital Olomouc and Clinic of Stomatology, Charles University and University Hospital Hradec Králové. Patients with impacted upper canine were selected. Dental or skeletal classification did not affect their inclusion in the sample. Patients with syndromes or patients with aplasia were excluded. From the 420 patients with impacted canine, 62 suffered from palatally impacted canine. 8 patients had bilaterally impacted canines; 19 patients on the right side, and 16 on the left. Overall 51 palatally impacted canines were evaluated. Outliers - in case of the angle to the vertical line 3, in case of the angle to the occlusal plane 2 - were excluded from the evaluation. 43 patients met the criteria, i.e. legible OPG and CBCT scans without artifacts and with sufficient FOV made within the interval of maximum two weeks. The sample included 17 males (39.6%) and 26 females (60.5%). The mean age was 18 years and 8 months (SD \pm 8.6 years, minimum 9 years and 11 months, the maximum 42 years and 3 months).

Both OPG and CBCT scans were taken with Planmeca Pro Max (Planmeca). OPG scans were taken with the radiation load of 68 kVp, X-ray tube flow 10 mA. CBCT scans were taken with the radiation load of 84 kVp, X-ray tube flow 12 mA, scan thickness 0.2 mm, saved in the format DICOM 3.

Method

Position of impacted canines was evaluated in three different radiographs (OPG, OPG generated from CBCT, and CBCT) using angular parameters. Measurements in OPGs were done with DfW Digora for Windows (SoredexTM).

CBCT scans were evaluated with EZ3D Plus Premium (VatechTM). Individual scans were oriented according to the reference planes. The horizontal plane ran through the occlusal plane running through the upper incisal point and mesial cusps of maxillary first molars (Fig. 3). The vertical plane ran through the centre of the angle of long axes of maxillary permanent incisors, along raphe palati through spina nasalis anterior and posterior (Fig. 2). The sagittal plane ran through the incisal point. The horizontal, vertical and sagittal planes were perpendicular to each other. The centred scan was saved and used to generate OPG as well as for individual measurements.

Generated OPG was made in EZ3D Plus Premium from CBCT scan after the planes reorientation using

vin pomocí funkce Panoramic curve. Průběh řezu byl individualizován dle tvaru zubního oblouku pacienta a probíhal středem jednotlivých zubů v průběhu zubního oblouku na úrovni jejich cementosklovinové hranice. Pro dostatečné zobrazení palatinálně retinovaného špičáku jsme zvolili tloušťku zobrazení 20 mm. Generované OPG snímky byly hodnoceny v programu EZ3D plus premium.

Měření bylo provedeno jedním zkušeným lékařem (I.D.) zběhlým v diagnostice a analýze polohy retinovaných špičáků. 10 opakovaných měření bylo provedeno stejným lékařem s dvouměsíčním odstupem po prvním měření. CBCT snímky byly hodnoceny jako první, za 4 měsíce poté byla provedena měření na OPG a za 4 měsíce od hodnocení OPG byla provedena měření na generovaném OPG, aby se předešlo systematické chybě.

U každého pacienta byly hodnoceny tyto parametry:

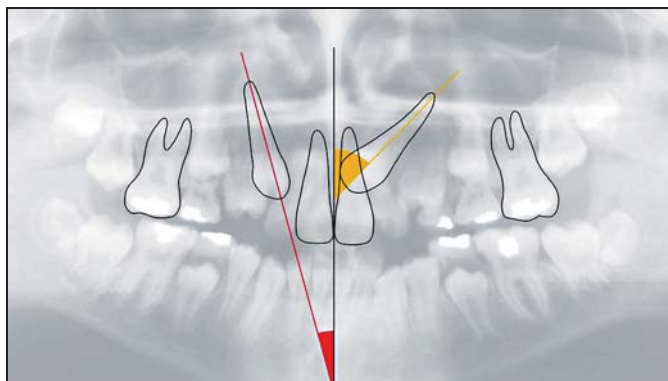
1) Sklon (inklinace) dlouhé osy špičáku k vertikální referenční linii (ve stupních)

Postup měření na OPG (StVL_2D) a generovaném OPG snímku (StVL_Gen)

Sklon (inklinace) dlouhé osy špičáku k vertikální referenční linii byl měřen dle Stewarta et al. [13] (Obr. 1). V počítačovém programu DfW Digora pro Windows (Soredex) pro OPG a v programu EZ3D plus premium (Vatech) pro generované OPG byla narýsována vertikální referenční linie (střední čára horního oblouku), která rozpůlila dlouhé osy horních stálých řezáků. Dále byla narýsována dlouhá osa retinovaného špičáku tak, aby protínala vertikální referenční linii. Sklon (inklinace) dlouhé osy špičáku k vertikální referenční linii byl měřen úhlovým 2D měřidlem softwaru s přesností $0,1^\circ$.

Měření na CBCT (StVL_CT)

Konstruovaná vertikální referenční rovina procházela středem raphe palati a uprostřed mezi nosními konchami, půlila úhel mezi dlouhými osami horních



Obr. 1. Sklon (inklinace) dlouhé osy špičáku k vertikální referenční linii na OPG

Fig. 1. Canine long axis inclination to vertical reference line in OPG

the function Panoramic curve. The curve was individual according to the shape of patient's dental arch and ran through the middle of individual teeth within the dental arch at the level of their cemento-enamel junction. To get a sufficient image of palatally impacted canine we used the thickness/slice of 20 mm. Generated OPGs were evaluated with EZ3D Plus Premium software.

Measurements were done by one experienced orthodontist (I.D.) well versed in diagnostics and analysis of impacted canine location. 10 repeated measurements were done by the same person two months after the first one. CBCT scans were evaluated as the first, 4 months later measurements were done in OPGs, and after another 4 months in generated OPGs to avoid systematic error.

In each patient the following parameters were evaluated:

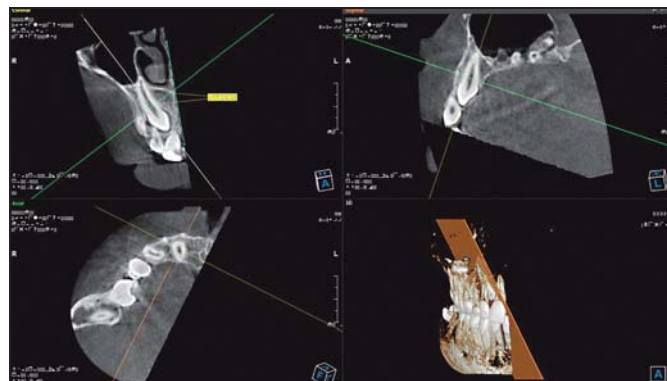
1) Inclination of canine long axis to vertical reference line (in degrees)

The proces of measurement in OPG (StVL_2D) and in generated OPG (StVL_Gen)

The inclination of canine long axis to the vertical reference line was measured according to Stewart et al. [13] (Fig. 1). In the software DfW Digora for Windows (Soredex) for OPG, and EZ3D Plus Premium (Vatech) for generated OPG the vertical reference line was drawn (midline of the upper arch) that bisected long axes of upper permanent incisors. Next a long axis of impacted canine was drawn to intersect the vertical reference line. The inclination of canine long axis to the vertical reference line was measured with the software 2D protractor with the accuracy of 0.1° .

Measurement in CBCT (StVL_CT)

The construed vertical reference plane ran through the middle of raphe palati and between nasal conchas, bisected the angle between long axes of upper permanent incisors, ran through incisal point and spina nasalis



Obr. 2. Sklon (inklinace) dlouhé osy špičáku k vertikální referenční rovině na CBCT

Fig.2. Canine long axis inclination to vertical reference plane in CBCT

stálých řezáků, procházela řezákovým bodem a spina nasalis anterior i posterior. V axiálním řezu pomocí funkce sculpt byla odstraněna polovina CBCT neobsaahující retinovaný špičák, a tím byla zajištěna identifikace vertikální referenční roviny.

Úhel byl měřen pomocí 2D úhlového měřidla se čtyřmi body mezi sagitální rovinou zubu a vertikální referenční rovinou definovanou výřezem (Obr. 2).

2) Sklon (inklinace) dlouhé osy špičáku od okluzní roviny (ve stupních)

Postup měření na OPG (StOL_2D) a generovaném OPG snímku (StOL_Gen)

V počítačovém programu DfW Digora pro Windows (Soredex) pro OPG a v programu EZ3D Plus premium (Vatech) pro generované OPG byla narýsována linie roviny okluzy. Dále byla narýsována dlouhá osa retinovaného špičáku tak, aby protínala rovinu okluzy. Sklon (inklinace) dlouhé osy špičáku k okluzní rovině byl měřen úhlovým 2D měřidlem s přesností $0,1^\circ$.

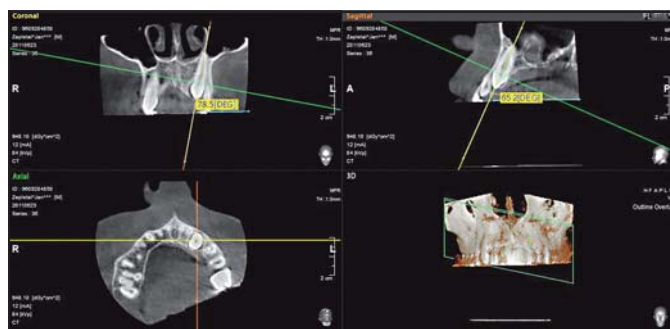
Měření na CBCT (StOL_CT)

V počítačovém programu EZ3D Plus premium v multiplanární rekonstrukci (MPR) byl snímek orientován dle referenčních rovin. Orientace v koronárním řezu - sagitální rovina procházela středem raphe palati, spina nasalis anterior a posterior a půllila dlouhé osy horních stálých řezáků. Orientace axiální roviny - okluzní - procházela řezákovým bodem a meziobukálními hrbolky prvních molárů. Pomocí funkce sculpt (ořez) byly odstraněny struktury nacházející se pod rovinou okluzy a tím byla rovina okluzy definována.

Měření probíhalo v koronárním řezu. Dlouhá osa špičáku byla určena proložením sagitální a koronární roviny středem korunky i kořene retinovaného špičáku. Úhel byl měřen pomocí 2D úhlového měřidla se čtyřmi body mezi sagitální rovinou zubu a okluzní rovinou definovanou výřezem (Obr. 3).

Použité statistické metody

Opakovatelnost (repeatability) měření byla kvantifikována technickou chybou měření (technical error of



Obr. 3. Sklon (inklinace) dlouhé osy špičáku od okluzní roviny na CBCT

Fig. 3. Canine long axis inclination to the occlusal plane in CBCT

anterior and posterior. In the axial scan using the function sculpt the half of CBCT without impacted canine was removed in order to identify the vertical reference plane.

The angle was measured with 2D protractor with four points between the tooth sagittal plane and the vertical reference plane defined by the sculpt (Fig. 2).

2) Inclination of canine long axis from occlusal plane (in degrees)

The proces of measurement in OPG (StOL_2D) and generated OPG (StOL_Gen)

In DfW Digora for Windows (Soderex) in case of OPG and in EZ3D Plus Premium (Vatech) in case of generated OPG the line of occlusal plane was drawn. Next the impact canine long axis was drawn to intersect the occlusal plane. The inclination of canine long axis from the occlusal plane was measured with 2D protractor with the accuracy of 0.1° .

Measurement in CBCT (StOL_CT)

In EZ3S Plus premium in multiplanar reconstruction (MPR) the scan was oriented according to the reference planes. Coronal scan orientation - the sagittal plane ran through the middle of raphe palati, spina nasalis anterior and posterior, and bisected long axes of the upper permanent incisors. Axial plane orientation - occlusal - ran through the incisal point and mesiobuccal cusps of first molars. Using the function of sculpt the structures under the occlusal plane were removed and thus the occlusal plane was defined.

Measurement was done in the coronary section. Canine long axis was defined with interlaying of sagittal and coronary plane through the middle of impacted canine crown and root. The angle was measured with 2D protractor with four points between the sagittal plane of the tooth and the occlusal plane defined by the sculpt (Fig. 3)

Statistical methods used

Repeatability was quantified with technical error of measurement (TEM) according to Dahlberg and with the derived relative error of measurement (relative TEM, coefficient of variation CV) [19, 20]. Repeated measurements were taken 2 months after the first one by the same person in 10 randomly selected patients.

Reproducibility was quantified with coefficient of repeatability (CR) according to Bland and Altman with graphic visualization of outcome by Bland-Altman plots [21, 22].

Results

Repeatability of measurement

Technical error of two repeated measurements exceeded 1° in measurements of canine inclination

Tab. 1. Opakovatelnost měření polohy špičáku na digitálních rentgenogramech: technická chyba měření (technical error of measurement, TEM) metodou dle Dalhberga

Tab.1. Repeatability of measurements of canine position in digital radiographs: technical error of measurement (TEM) according to Dahlberg.

		N	Mean	TEM (SD)	CV (%)
StVL	2D	10	35.63	0.81	2.27
	GEN	10	36.32	0.95	2.62
	CT	10	23.59	1.23	5.22
StOL	2D	10	52.87	0.89	1.67
	GEN	10	54.27	0.91	1.68
	CT	10	66.36	1.21	1.82

2D = digitální rentgenogramy zhotovené na digitálním OPG, digital radiographs taken in digital OPG; CT = rengenogramy zhotovené na cone-beam CT, radiographs taken with cone-beam CT; GEN = digitální OPG generované z CBCT snímků, digital OPG generated from CBCT scans; StVL = sklon (inklinace) špičáku od vertikální referenční linie/ roviny na OPG, canine inclination from the vertical reference line/plane in OPG; StOL = sklon (inklinace) dlouhé osy špičáku k okluzní rovině na OPG, canine long axis inclination to the occlusal plane in OPG; TEM (SD) = technická chyba měření (TEM), technical error of measurement (TEM); CV (%) = koeficient variability (relative TEM), coefficient of variation (relative TEM).

measurement, TEM) metodou dle Dalhberga a z ní odvozenou relativní chybou měření (relative TEM, coefficient of variation CV) [19, 20]. Opakovaná měření byla provedena 2 měsíce po prvním měření stejným lékařem na 10 náhodně vybraných pacientech.

Reprodukovatelnost (reproducibility) měření byla kvantifikována koeficientem opakovatelnosti (coefficient of repeatability, CR) podle Blanda a Altmana spolu s grafickou vizualizací výstupu Bland-Altmanovými rozdílovými grafy (Bland-Altman plots) [21, 22].

Výsledky

Opakovatelnost měření

Technická chyba dvojího opakovaného měření přesáhla hodnotu 1° u měření sklonu špičáku od vertikální referenční linie/ roviny na CBCT snímcích i u měření sklonu dlouhé osy špičáku k okluzní rovině na CBCT snímcích. V ostatních případech úhlových měření byla zaznamenána technická chyba měření v rozsahu od $0,8^\circ$ do 1° (Tab. č. 1).

Relativní chyba měření (koeficient variability, CV) byla největší u měření sklonu špičáku od vertikální referenční roviny na CBCT (CV = 5,22 %). Relativní chyba měření v rozsahu od 2% do 5% byla zjištěna u měření sklonu dlouhé osy špičáku k vertikální rovině na OPG snímcích a OPG snímcích generovaných z CBCT. U měření sklonu dlouhé osy špičáku k okluzní rovině nepřesáhla relativní chyba měření 2% (Tab. 1).

Reprodukovatelnost

Reprodukovatelnost měření na digitálních OPG, měření na rengenogramech zhotovených na CBCT a měření na digitálních OPG generovaných z CBCT snímků, po vyloučení dvou odlehlých měření pro úhel v okluzní rovině a třech odlehlých měření pro úhel k vertikální linii, byla kvantifikována koeficientem opakovatelnosti (coefficient of repeatability, CR) podle Blanda a Altmana spolu s grafickou vizualizací výstupu Bland-Altmanovými rozdílovými grafy (Bland-Altman plots) [21, 22].

to the vertical reference line/plane in CBCT pictures as well as in measurements of canine long axis inclination to the occlusal plane in CBCT pictures. In other cases the technical error was within 0.8° and 1° (Table 1).

Relative error of measurement (coefficient of variation, CV) was most profound in canine inclination to the vertical reference plane in CBCT (CV = 5.22%). Relative error of measurement within the interval 2% and 5% was found for canine long axis inclination to the vertical plane in OPG pictures and in OPGs generated from CBCT. Relative error of measurement for canine long axis inclination to the occlusal plane did not exceed 2% (Table 1).

Reproducibility

Reproducibility of measurement in digital OPG, measurements in radiographs taken by CBCT and measurement in digital OPGs generated from CBCT scans (after exclusion of two outliers for the angle in the occlusal plane, and three outliers for the angle to the vertical line) was quantified with coefficient of repeatability (CR) according to Brand and Altman (Table 2) together with graphic representation of the outcome.

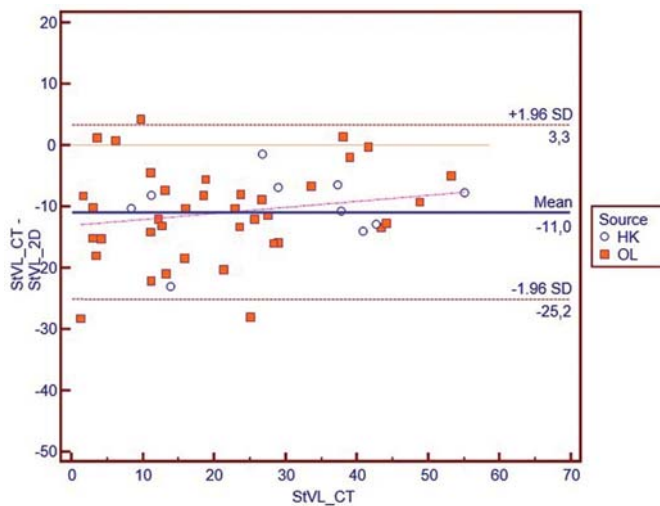
Canine inclination from the vertical reference line/plane in OPG and CBCT

Canine inclination from the vertical reference line/plane in OPG and CBT differed between the three types of radiographs significantly ($p < 0.01$). The greatest difference was recorded between CBCT and OPG scans generated from CBCT (systematic error 16.3°). Systematic error between 2D OPG and CBCT was 11.0° . Systematic error between 2D OPGs and generated OPGs was only 5.3° . Bland-Altman coefficient of reproducibility (after 2 outliers excluded) between all three imaging methods oscillated within the interval

Tab. 2. Reprodukovatelnost měření na digitálních rentgenogramech metodou dle Blanda a Altmana
Tab. 2. Reproducibility of measurements in digital radiographs according to Bland and Altman

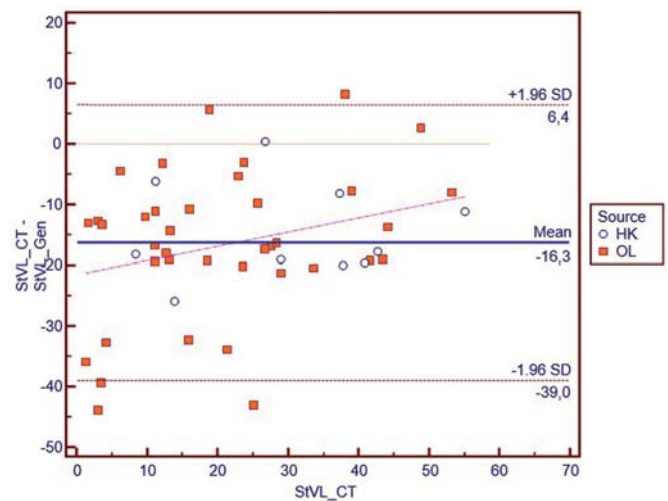
			N	Mean	SD	LLoA	ULoA	CR	p-value
StVL	2D	GEN	48	-5.33	9.2	-23.37	12.70	18.03	<0.0001
	CT	2D	48	-10.95	7.25	-25.17	3.26	14.21	<0.0001
	CT	GEN	48	-16.29	11.57	-38.97	6.40	22.69	<0.0001
StOL	2D	GEN	49	2.06	8.50	-14.60	18.71	16.65	0.10
	CT	2D	49	14.75	8.90	-2.70	32.20	17.45	<0.0001
	CT	GEN	49	16.80	12.13	-6.96	40.57	23.77	<0.0001

2D = digitální rentgenogramy zhotovené na digitálním OPG, digital radiographs taken in digital OPG; CT = renogogramy zhotovené na cone-beam CT, radiographs taken with cone-beam CT; GEN = digitální OPG generované z CBCT snímků, digital OPG generated from CBCT scans; StVL = sklon (inklinace) špičáku od vertikální referenční linie/roviny na OPG, canine inclination from the vertical reference line/plane in OPG; StOL = sklon (inklinace) dlouhé osy špičáku k okluzní rovině na OPG, canine long axis inclination to the occlusal plane in OPG; SD = směrodatná odchylka rozdílů opakovaných měření, standard deviation of the differences of repeated measurements; ULoA, LLoA = horní a dolní limit shody, upper and lower limit of agreement; CR = koeficient opakovatelnosti, coefficient of repeatability, p-value = statistická významnost rozdílu - soustavná chyba (bias), analogie párového t-testu, statistical significance of the difference - systematic error (bias), analogy of pair t-test.



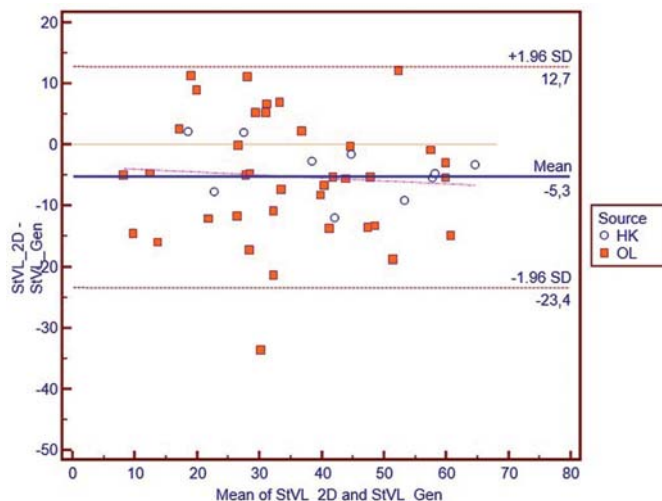
Obř. 4. Bland-Altmanův rozdílový graf pro reprodukovatelnost měření sklonu (inklinace) špičáku od vertikální referenční linie/roviny na 2D OPG a CBCT. Průměr opakovaných měření StVL_CT (sklon špičáku od vertikální referenční roviny na CBCT) je vynášen na osu x a rozdíly dvojic měření StVL_CT-StVL_2D (sklon špičáku od vertikální referenční linie/roviny na CBCT a 2D OPG) na osu y. Horizontální linky (na ose y) značí polohu průměrného rozdílu mezi oběma měřeními. Další dvě horizontální linky jsou limity shody opakovaných měření.

Fig. 4. Bland-Altman plot for reproducibility of the measurement of canine inclination from the vertical reference line/plane in 2D OPG and CBCT. The mean value of repeated measurements in StVL_CT (canine inclination from the vertical reference plane in CBCT) is plotted on x axis and differences between two measurements StVL_CT-StVL_2D (canine inclination from the vertical reference line/plane in CBCT and 2D OPG) on y axis. Horizontal lines (on y axis) represent the location of the mean difference between the two measurements. The other two horizontal lines represent limits of agreement between the repeated measurements.



Obř. 5. Bland-Altmanův rozdílový graf pro reprodukovatelnost měření sklonu (inklinace) špičáku od vertikální referenční linie/roviny na CBCT a generovaném OPG. Průměr opakovaných měření StVL_CT (sklonu špičáku od vertikální referenční roviny na CBCT) je vynášen na osu x a rozdíly dvojic měření StVL_CT-StVL_Gen (sklon špičáku od vertikální referenční linie/roviny na CBCT a generovaném OPG) na osu y. Horizontální linky (na ose y) značí polohu průměrného rozdílu mezi oběma měřeními. Další dvě horizontální linky jsou limity shody opakovaných měření.

Fig. 5. Bland-Altman plot for reproducibility of the measurement of canine inclination from the vertical reference line/plane in CBCT and generated OPG. The mean value of repeated measurements in StVL_CT (canine inclination from the vertical reference plane in CBCT) is plotted on x axis and differences between two measurements StVL_CT-StVL_Gen (canine inclination from the vertical reference line/plane in CBCT and generated OPG) on y axis. Horizontal lines (on y axis) represent the location of the mean difference between the two measurements. The other two horizontal lines represent limits of agreement between the repeated measurements.



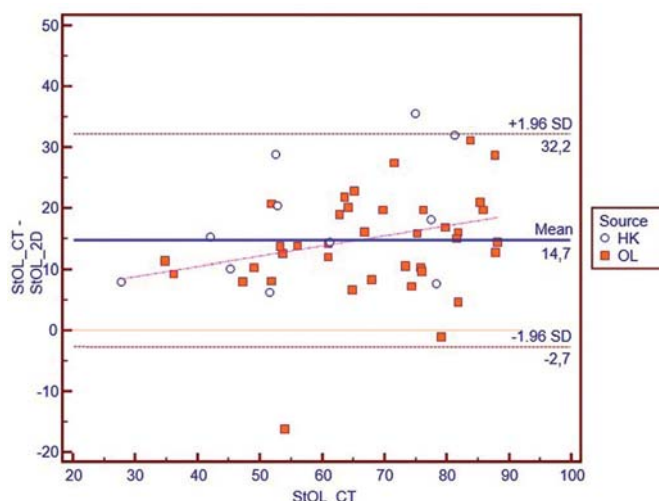
Obr. 6. Bland-Altmanův rozdílový graf pro reprodukovatelnost měření sklonu (inklinace) špičáku od vertikální referenční linie/roviny na 2D OPG a generovaném OPG. Průměr opakovaných měření StVL_2D a StVL_Gen (průměr sklonu špičáku od vertikální referenční linie/roviny na OPG a generovaném OPG) je vynášen na osu x a rozdíly dvojic měření StVL_2D-StVL_Gen (sklon špičáku od vertikální referenční linie/roviny na OPG a generovaném OPG) na osu y. Horizontální linky (na ose y) značí polohu průměrného rozdílu mezi oběma měřeními. Další dvě horizontální linky jsou limity shody opakovaných měření.

Fig. 6. Bland-Altman plot for reproducibility of the measurement of canine inclination from the vertical reference line/plane in 2D OPG and generated OPG. The mean value of repeated measurements in StVL_CT and StVL_Gen (canine inclination from the vertical reference plane in OPG and generated OPG) is plotted on x axis and differences between two measurements StVL_2D-StVL_Gen (canine inclination from the vertical reference line/plane in OPG and generated OPG) on y axis. Horizontal lines (on y axis) represent the location of the mean difference between the two measurements. The other two horizontal lines represent limits of agreement between the repeated measurements.

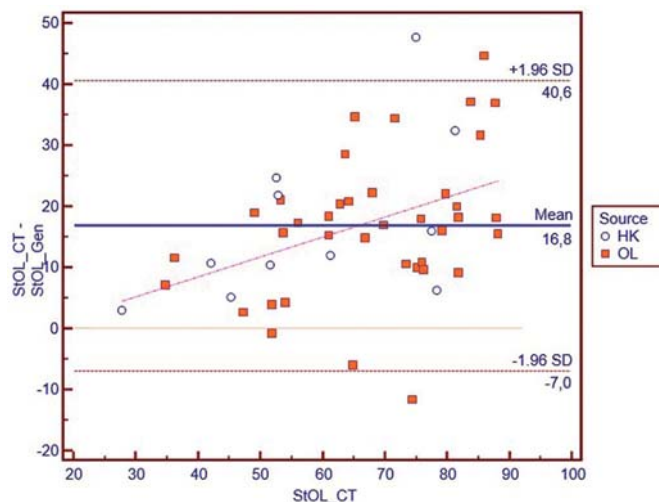
telnosti (coefficient of repeatability, CR) podle Blanda a Altmana (Tab. 2) spolu s grafickou vizualizací výstupu.

Sklon (inklinace) špičáku od vertikální referenční linie/roviny na OPG a CBCT

Sklon (inklinace) špičáku od vertikální referenční linie/roviny na OPG a CBCT se ve statisticky významné míře ($p < 0.01$) soustavně lišil mezi všemi třemi typy zobrazení. Největší rozdíl byl zaznamenán mezi vlastním CBCT zobrazením a OPG zobrazením generovaným z CBCT (soustavná chyba 16,3°). Mezi OPG zhotoveném na 2D rtg přístroji a CBCT byla zjištěna soustavná chyba 11,0°. 2D OPG rentgenogramy a ty generované z CBCT měly soustavnou chybu jen 5,3°. Bland-Altmanův koeficient reprodukovatelnosti po vyloučení 2 odlehklých hodnot mezi všemi třemi metodami zobrazení kolísá v rozmezí od 14,21° (mezi CBCT a 2D OPG zobrazením) po 22,69° (mezi CBCT a generovaným OPG zobrazením) (Obr. 4, 5, 6).



Obr. 7. Bland-Altmanův rozdílový graf pro reprodukovatelnost měření sklonu (inklinace) špičáku od okluzní roviny na 2D OPG a CBCT.
Fig. 7. Bland-Altman plot for reproducibility of the measurement of canine inclination from the occlusal plane in 2D OPG and CBCT.



Obr. 8. Bland-Altmanův rozdílový graf pro reprodukovatelnost měření sklonu (inklinace) špičáku od okluzní roviny na CBCT a generovaném OPG.

Fig. 8. Bland-Altman plot for reproducibility of the measurement of canine inclination from the occlusal plane in CBCT and generated OPG.

14.21° (between CBCT and 2D OPG) and 22.69° (between CBCT and generated OPG) (Fig. 4, 5, 6).

With the increasing canine inclination from the vertical reference line the differences between CBCT and other (planar) pictures reduced.

Canine long axis inclination to the occlusal plane in OPG and CBCT

Canine inclination to the occlusal plane in OPG and CBCT differed between two types of planar images and CBCT scans significantly. The greatest difference was recorded between CBCT and OPG scan generated from CBCT (systematic error 16.8°, $p < 0.001$). Systematic error between 2D OPG and CBCT was 14.7° ($p < 0.001$). Systematic error between 2D OPGs and generated OPGs was only 2.1° ($p > 0.05$).

S rostoucím sklonem špičáku od vertikální referenční linie se naměřené rozdíly mezi zobrazeními CBCT a ostatními (planárními) zobrazeními zmenšovaly.

Sklon (inklinace) dlouhé osy špičáku k okluzní rovině na OPG a CBCT

Naměřené hodnoty sklonu (inklinace) dlouhé osy špičáku k okluzní rovině na OPG a CBCT se ve statisticky významné míře soustavně liší mezi oběma planárními typy zobrazení retinovaného špičáku a CBCT zobrazením. Největší rozdíl byl zaznamenán mezi vlastním CBCT zobrazením a OPG zobrazením generovaným z CBCT (soustavná chyba 16,8°, $p < 0.001$). Mezi OPG zhotovenými na 2D rtg a CBCT je soustavná chyba 14,7° ($p < 0.001$). Rentgenogramy zhotovené na 2D OPG a generované z CBCT měly soustavnou chybu jen 2,1° ($p > 0.05$).

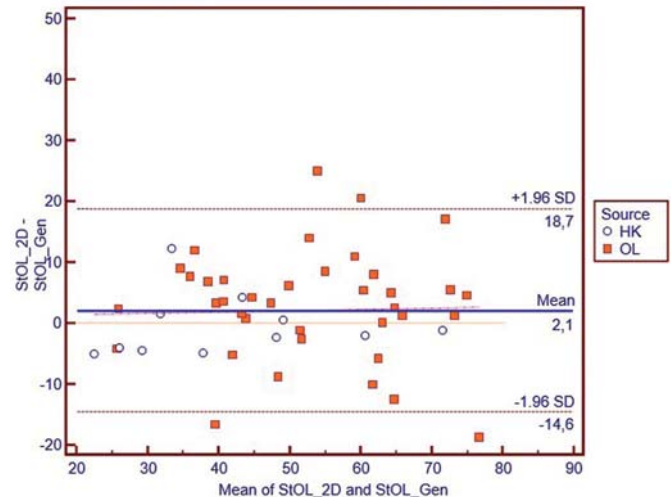
Bland-Altmanův koeficient reprodukovatelnosti po vyloučení 2 odlehlých hodnot mezi všemi třemi metodami zobrazení kolísá v rozmezí od 16,65° (mezi generovaným OPG a 2D OPG zobrazením) po 23,77° (mezi CBCT a generovaným OPG zobrazením) (Obr. č. 7, 8, 9).

S rostoucím sklonem špičáku od okluzní roviny se naměřené rozdíly mezi zobrazeními CBCT a ostatními (planárními) zobrazeními zvětšovaly.

Diskuse

Jako faktory ovlivňující délku léčby a prognózu zařazení jsou označovány vzdálenost špičáku a jeho úhel k vertikální referenční linii/rovině a k okluzní rovině [11, 12, 13].

Ericson a Kurol [14], Stewart et al. [13], Wriedt et al. [10] a McSherry et al. [15] uvádí, že čím je špičák napřímenější (má větší úhel od okluzní a menší od vertikální roviny), tím je jeho prognóza lepší. Sklon špičáku ke střední čáře větší než 45 % zhoršuje prognózu [16] a i jeho reakci na léčbu [17]. Crescini et al. [18] uvádí, že každé zvětšení úhlu dlouhé osy špičáku ke střední čáře o 5° znamená prodloužení léčby o 1 týden. Pokud je úhel k vertikální referenční linii větší než 45°, 32 % špičáků z této kategorie je doporučeno k extrakci, zatímco téměř všechny špičáky s úhlem menším než 30° jsou doporučeny k zařazení [16]. Stivaros, Mandall a Orth [12] taktéž dokázali, že malý sklon vede k lepší prognóze zařazení špičáku, konstatují však, že i špičáky uložené pod větším úhlem mají šanci na zařazení. Pro stanovení polohy retinovaného špičáku na OPG jsou definována přesná pravidla, která byla lékaři automaticky převzata i pro 3D zobrazovací metody. Proto bylo cílem studie zjištění míry vzájemné zastupitelnosti 3 různých digitálních rentgenogramů pro určování polohy retinovaných horních špičáků pomocí angulár-



Obr. 9. Bland-Altmanův rozdílový graf pro reprodukovatelnost měření sklonu (inklinace) špičáku od okluzní roviny na 2D OPG a generovaném OPG.

Fig.9. Bland-Altman plot for reproducibility of the measurement of canine inclination from the occlusal plane in 2D OPG and generated OPG.

Bland-Altman coefficient of reproducibility (after 2 outliers excluded) between all three imaging methods oscillated within the interval 16.65° (between generated OPG and 2D OPG) and 23.77° (between CBCT and generated OPG) (Fig. 7, 8, 9).

With the increasing canine inclination from the occlusal plane the differences between CBCT and other (planar) scans increased.

Discussion

The factors affecting the length of treatment and prognosis of impacted canine include the distance of canine and its inclination to the vertical reference line/plane and to the occlusal plane [11, 12, 13].

Ericsson and Kurol [14], Stewart et al. [13], Wriedt et al. [10], and McSherry et al. [15] report that the more upright the canine (it has greater angle from the occlusal and smaller one from the vertical plane), the better its prognosis. Canine inclination to the midline over 45% worsens the prognosis [16] as well as the tooth response to the treatment [17]. Crescini et al. [18] state that each increase in canine long axis angle to the midline by 5° results in one more week of the treatment. In case the angle to the vertical reference line exceeds 45° 32 % of canines are recommended for extraction, while almost all canines with the angle less than 30° are recommended for alignment [16]. Stivaros, Mandall and Orth [12] proved that small inclination results in better alignment prognosis. However, they add that even canines with bigger inclination can be aligned. To establish the position of impacted canine in OPG there are clear rules that are automatically used also for 3D imaging techniques. Therefore, the aim of the study was to determine the possibility of mutual sub-

ních proměnných. V odborné literatuře podobné srovnání lokalizace retinovaného špičáku pomocí těchto 3 zobrazovacích metod nebylo dosud provedeno.

Opakovatelnost

Chyba měření přesáhla hodnotu 1° u měření sklonu špičáku od vertikální referenční linie/roviny na CBCT snímcích i u měření sklonu dlouhé osy špičáku k okluzní rovině na CBCT snímcích. Chyba měření mohla být způsobena metodikou měření a nutností převést 3D rovinu na 2D linii pro měření úhlu. Pro identifikaci roviny byl použit ořez roviny. Obzvláště pro změření sklonu špičáku k okluzní rovině bylo často třeba pootočit snímek pro změření úhlu pomocí 2D úhlového měřidla tak, aby obsahoval jak rovinu, tak dlouhou osu špičáku, čímž mohlo dojít k nepřesnostem.

Relativní chyba měření (koeficient variability, CV) byla největší u měření sklonu špičáku od vertikální referenční linie/roviny na CBCT (CV = 5,22 %). Větší chyba měření může být dána problematickým určením vertikální roviny kvůli nutnosti postihnout více anatomických struktur při její konstrukci.

Reprodukovatelnost

Testy reprodukovatelnosti měření na digitálních rentgenogramech prokázaly špatnou a klinicky nedostatečnou reprodukovatelnost měření mezi rentgenogramy zhotovenými různou technikou z hlediska určení polohy retinovaných špičáků vůči referenčním rovinám pomocí úhlových rozměrů.

Reprodukovatelnost měření sklonu (inklinace) špičáku od vertikální referenční linie/roviny na OPG a CBCT: sklon (inklinace) špičáku od vertikální referenční linie/roviny na OPG a CBCT se ve statisticky významné míře soustavně liší mezi všemi třemi typy rentgenového zobrazení. Je to pravděpodobně způsobeno rozdílem mezi zaznamenáváním 3D vertikální roviny a 2D vertikální linie. Ke stejnému závěru došli i Hutchinsonová et al. [4], kteří uvádí, že úhlová měření na CBCT a OPG se navzájem liší. Největší variabilita, dle jejich výsledků je v oblasti špičáků a premolárů v horní čelisti a dále distálně v čelisti dolní. Připisují to pozici hlavy při zhotovení OPG snímku, torzi kořenů a deformaci snímku.

Naopak Botticelli et al. [23] a Al - Ansari et al. [24] ve svých studiích nepotvrdili signifikantní rozdíl mezi sklonem špičáku k vertikální linii na 2D snímcích a CBCT vyšetření. Příčinou nelišících se výsledků však může být spíše metodika výzkumu: Al - Ansari et al. [24] rozdělili sklon špičáků k vertikální linii na kategorie pod a nad 16° , Botticelli et al. [23] na 3 kategorie. Rozdělení výsledků vede k zahrnutí velkého rozsahu hodnot do jednotlivých kategorií.

stitutability of 3 different digital radiographs for identification of the impacted upper canines with angular parameters. In the literature a similar comparison of location of impacted canine with the 3 imaging methods has not been described yet.

Repeatability

In CBCT scans the error of measurement exceeded 1° in measurements of canine inclination from the vertical reference line/plane, and in measurements of canine long axis inclination to the occlusal plane. The error of measurement might be due to a measurement method and due to the need to transfer 3D plane to 2D line for angle measurement. The plane was identified by means of sculpt. Especially when measuring canine inclination to the occlusal plane, it was often necessary to turn the scan slightly in order to measure the angle with 2D protractor and to include the plane as well as canine long axis which might result in inaccuracy.

The relative error of measurement (coefficient of variation, CV) was the highest in canine inclination from the vertical reference line/plane in CBCT CV = 5.22 %. The higher error of measurement may be due to difficult identification of the vertical plane - as it was necessary to include more anatomical structures during its construction.

Reproducibility

Tests of measurement reproducibility in digital radiographs proved poor and clinically insufficient reproducibility of measurements between radiographs taken with different techniques from the viewpoint of determination of impacted canines location in relation to the reference planes using angular parameters.

Reproducibility of measurement of canine inclination from the vertical reference line/plane in OPG and CBCT scans: canine inclination from the vertical reference line/plane in OPGs and CBCTs is significantly different between all three radiographs. This may be due to the difference between recording of 3D vertical plane and 2D vertical line. The same conclusion is arrived at by Hutchinson et al. [4]. The authors found the greatest variation in the maxillary canines and premolar regions, and distally in the mandible. They conclude it may be due to the head position during OPG, roots torque and scan distortion.

On the contrary, Botticelli et al. [23] and Al-Ansari et al. [24] did not prove significant differences between canine inclination to the vertical line in 2D OPGs and CBCTs. However, this may be due to the methodology of their study: Al-Ansari et al. [24] divided canine inclination to the vertical line into two categories - below and above 16° ; Botticelli et al. [23] worked with three categories. Division of results leads to inclusion of the wide range of values into individual categories.

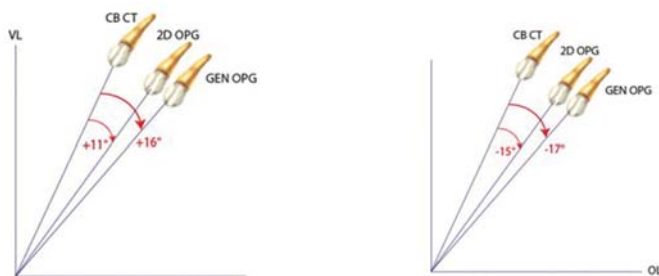
Algerban et al. [25] zjistili signifikantní rozdíl v měření úhlu dlouhé osy špičáku ke střední linii mezi OPG a medium-FOV CBCT. Stejně jako Peck et al. [26] potvrdili, že přesnost určení sklonu kořenů u OPG v porovnání s CBCT není spolehlivá, hlavně v oblasti špičáků a prvních premolárů, kde průměrný rozdíl úhlů byl 10°. Rovněž Pittayapat et al. [27] našli pouze mírnou shodu mezi OPG a CBCT v měření sklonu špičáku ke střední čáře.

Bland-Altmanův koeficient reprodukovatelnosti pro sklon špičáku od vertikální referenční linie/roviny kolísá v rozmezí od 14,21° do 22,69°. Rozdíly v reprodukovatelnosti obou metod jsou zde tak velké, že ve svém důsledku může diagnostika provedená rozdílnými metodami znamenat i stanovení jiného plánu léčby retinovaného špičáku.

Z našich výsledků vyplývá, že špičáky jsou zobrazeny na planárních rentgenech horizontálněji. Jejich sklon od vertikální linie je průměrně o 11° (resp. 16°) větší než na CBCT (Obr. 10). Tento rozdíl je klinicky relevantní, protože nepříznivá hranice pro léčbu je určena od 45° [15, 16, 17]. Crescini et al. [18] uvádí, že každé zvětšení úhlu o 5° prodlouží léčbu o týden. Čili rozdíl v měřeních výrazně ovlivní jak prognózu zařaditelnosti špičáku, tak i odhad délky léčby.

U napřímenějších špičáků s menším úhlem sklonu od vertikální linie se rozdíly v zobrazeních mezi planárními OPG a CBCT výrazně zvětšovaly. Z toho vyplývá, že téměř pravidelně postavené špičáky mohou být falešně považovány za hůře zařaditelné, a naopak u špičáku s horší prognózou a delší délkou léčby budou tyto odchylky menší (Obr. 11).

Reprodukovatelnost měření sklonu (inklinace) dlouhé osy špičáku k okluzní rovině na OPG a CBCT se ve statisticky významné míře soustavně liší mezi oběma planárními typy zobrazení retinovaného špičáku a CBCT zobrazením. Je to patrně způsobeno metodikou měření. Při měření úhlu k odříznuté okluzní rovině téměř v 65 % měření je nutno pootočit obraz tak, aby na jednom zobrazení byla i rovina okluze i dlouhá osa



Obr. 10. Soustavná chyba v reprodukovatelnosti měření sklonu špičáku od vertikální referenční linie/roviny a od okluzní roviny na digitálních rentgenogramech

Fig. 10. Systematic error in the reproducibility of the measurement of canine inclination from the vertical reference line/plane and from the occlusal plane in digital radiographs.

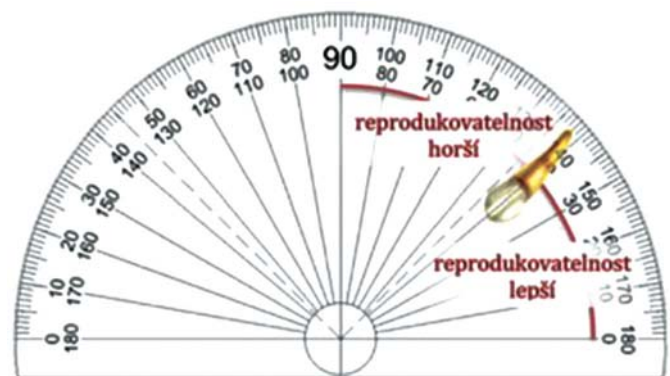
Algerban et al. [25] found significant difference in the measurements of canine long axis inclination to the midline between OPG and medium-FOV CBCT. Similarly as Peck et al. [26], they proved that the accuracy of the roots inclination in OPG compared to CBCT is not reliable, especially in canine and first premolars regions, where the mean difference of angles was 10°. Pittayapat et al. [27] found only a moderate agreement between OPG and CBCT in measurements of canine inclination to the midline.

Bland-Altman coefficient of reproducibility for the canine inclination from the vertical reference line/plane was within the interval 14.21° and 22.69°. The differences in the reproducibility of the two methods are so profound that the diagnosis made with different methods may result in different treatment plan of impacted canine.

Our results suggest that in planar radiographs the canines appear more horizontally. Their inclination from the vertical line is by 11° (16° respectively) bigger than in CBCT (Fig. 10). The difference is clinically relevant as the unfavourable limit for treatment is set from 45° [15, 16, 17]. Crescini et al. [18] reports that each increase in the angle by 5° results in one more week of treatment. Therefore, the difference in measurements significantly affects both prognosis of successful canine alignment and the length of treatment.

In case of more upright canines with smaller inclination from the vertical line the differences between planar OPGs and CBCTs increased. It follows that almost regularly positioned canines may be falsely considered less suitable for alignment, and, on the contrary, in case of a canine with worse prognosis and longer treatment the deviations will be smaller (Fig. 11).

Reproducibility of measurements of canine long axis inclination to the occlusal plane in OPG and CBCT was significantly different between the two types of



Obr. 11. Lepší reprodukovatelnost polohy špičáku je tehdy, pokud je špičák skloněný více od vertikální linie. Čím větší sklon, tím lepší reprodukovatelnost

Fig. 11. Reproducibility of canine position is better when the canine inclines more from the vertical line. The greater inclination, the better reproducibility.

špičáku. To pak může ovlivnit výsledek úhlového měření. Hutchinsonová et al. rovněž uvádí měření úhlu jako nepřesné [4].

Bland-Altmanův koeficient reprodukovatelnosti ukázal velký rozptyl (16,65°; 23,77°), tedy špatnou a klinicky nedostatečnou reprodukovatelnost mezi OPG a CBCT při určování polohy retinovaných špičáků vůči referenčním rovinám prostřednictvím jejich úhlové relace k okluzní rovině.

Z výsledků zde prezentované studie vyplývá, že retinované zuby jsou zobrazeny na planárních rentgenech horizontálněji. Jejich sklon od okluzní roviny je průměrně o 15° (resp. 17°) menší než na CBCT ($p < 0.01$). Protože sklon dlouhé osy špičáku k okluzní linii je jeden z nejčastěji používaných parametrů hodnocení polohy retinovaného zubu, je důležité si uvědomit, že špičáky se na 2D rentgenových snímcích zobrazují v horizontálnější pozici a mohou být tím pádem považovány za obtížněji zařaditelné. Naopak CBCT falešně zlepšuje sklon špičáku oproti 2D rentgenovému zobrazení (obr.10).

S rostoucím sklonem špičáku od okluzní roviny, tedy u napřímenějších špičáků s větším úhlem sklonu od okluzní roviny, se naměřené rozdíly mezi zobrazeními CBCT a ostatními (planárními) zobrazeními zvětšovaly. Je zřejmé, že sklon palatinálně retinovaného špičáku k okluzní rovině 50° a víc stupňů je obtížněji reprodukovatelný (obr. 11).

I když mnohé studie ukázaly přidanou hodnotu CBCT v diagnostice resorpcí kořenů a dýchacích cest, stále je nedostatek důkazů, že CBCT nabízí výhodnější diagnostický potenciál nebo vede k lepšímu léčebnému plánu a prediktabilnějšímu výsledku léčby než tradiční 2D zobrazovací techniky [28]. Dle review Eslamiho et al. [29] přesnost CBCT osciluje mezi 50 % a 95 %, kdežto přesnost tradiční zobrazovací techniky osciluje mezi 39 % a 85 %. Nízká až střední shoda mezi hodnoceními lokalizace špičáků různými zobrazovacími technikami znamená, že z nich získané informace jsou rozdílné a mohou ovlivnit plán léčby. CBCT je efektivnější u složitějších případů, kde konvenční radiologie je pro diagnostiku nedostatečná. Jedná se hlavně o případy s podezřením na resorpci, ankylózu, cystu, anomální anatomii kořene a jiné, kde přesnější diagnostika ovlivní plán léčby [5]. Cílem této studie nebylo rozhodnout, která rtg diagnostika je pro určení pozice retinovaného špičáku lepší, ale především upozornit na rozdíly v měřeních zjištěné mezi 2D a 3D zobrazeními. Proto pokud chceme pro lokalizaci retinovaného zubu použít hodnoty parametrů definované pro OPG, ale máme k dispozici pouze CBCT, je lepší zhotovit generované OPG a měřit na něm z důvodu stejné hodnoty systematické chyby. Je vhodné, aby v budoucnu byly vytvořeny nové metodiky měření

planar images of impacted canine and CBCT. This may be due to the technique of measurement. When measuring the inclination to the sculpted occlusal plane, the image must be almost in 65% of measurements turned slightly to include the occlusal plane as well as canine long axis. This may then affect the result of angular measurement. Hutchinson et al. [4] also cites inaccurate angle measurement.

Bland-Altman reproducibility coefficient showed great variance (16.65°; 23.77°), i.e. poor and clinically insufficient reproducibility between OPG and CBCT in determining the location of impacted canines to the reference planes by means of their angular relation to the occlusal plane.

Our results suggest that impacted teeth are situated more horizontally in planar radiographs. Their inclination from the occlusal plane is by 15° (17° respectively) smaller than in CBCT ($p < 0.01$). Canine long axis inclination to the occlusal line is one of the most frequently used parameters for the assessment of impacted tooth location, and therefore, it is important to remember that in 2D scans canines are situated more horizontally and may be falsely considered as less capable of alingment. On the contrary, CBCT falsely improves canine inclination when compared to 2D OPG (Fig. 10).

With the increasing inclination of canine from the occlusal plane, i.e. in more upright canines with greater inclination from the occlusal plane, the measured differences between CBCTs and other (planar) images increased. It is clear that the palatally impacted canine inclination to the occlusal plane of 50° and more is more difficult to reproduce (Fig. 11).

Though several studies advocate CBCT in the diagnosis of root resorption and airways problems, there is lack of evidence that CBCT provides better diagnostic possibilities or that it results in a better treatment plan and more predictable results than 2D imaging methods [28]. According to the review by Eslami et al. [29] the accuracy of CBCT oscillates between 50 % and 95 %, while the accuracy of a traditional imaging methods oscillates between 39 % and 85 %. The weak to moderate agreement between evaluation of canine location with different imaging methods means that the information obtained is different and may affect the treatment plan. CBCT is more effective in more complex cases where conventional radiology is not enough. These are especially patients with suspected resorption, ankylosis, cyst, anomalous root anatomy, etc., in which a more precise diagnostics directly affects the treatment plan [5]. The aim of our study was not to decide which radiographic diagnostics is better for the determination of impacted canine position, but to draw attention to differences in measurements between 2D and 3D images. Therefore, in case we want to

špičáku pro CBCT. Tato měření by měla být třídimenzionální a jejich parametry by neměly být automaticky přenášeny do dvoudimenzionálního zobrazení. Jako velice slibná se v tomto směru jeví měření v souřadnicovém systému.

Závěr

Pomocí testů opakovatelnosti měření se podařilo prokázat dobrou a klinicky uspokojivou míru opakovatelnosti určení polohy špičáků pro všechny sledované typy rentgenogramů v úhlových charakteristikách jejich polohy vůči referenčním rovinám.

Testy reprodukovatelnosti měření na digitálních rentgenogramech prokázaly špatnou a klinicky nedostatečnou reprodukovatelnost měření mezi rentgenogramy zhotovenými různou technikou (OPG, CBCT a generované OPG) z hlediska určení polohy retinovaných špičáků vůči referenčním rovinám pomocí úhlových rozměrů.

Výsledky měření dále prokázaly velkou a klinicky podstatnou soustavnou odchylku (bias) naměřených hodnot u úhlových měření mezi třídimenzionálními snímky čelistí zhotovenými na CBCT a mezi dvoudimenzionálními OPG zhotovenými na digitálním orthopantomografu nebo počítačově generovanými z CBCT snímků.

Kvůli rozdílu výsledků není možné 2D a 3D zobrazovací techniky zcela volně zaměňovat a některé starší poznatky získané na 2D materiálu automaticky aplikovat na CBCT snímky.

Autoři nemají komerční, vlastnické nebo finanční zájmy na produktech nebo společnostech popsanych v tomto článku.

use parameters defined for OPG to locate impacted tooth, but we have only CBCT at our disposal, it is better to prepare generated OPG, due to the same systematic error. In the future new methodology for canine measurements for CBCT should be adopted. These measurements should be 3D and their parameters should not be automatically transferred into 2D images. Measurements done in the system of coordinates seem as a promising method.

Conclusion

Tests of measurement repeatability proved a good and clinically sufficient repeatability of the determination of canine position in all types of radiographs.

Tests of measurement reproducibility in digital radiographs proved poor and clinically insufficient reproducibility of measurements between radiographs prepared with different techniques (OPG, CBCT, and generated OPG) from the viewpoint of the determination of impacted canines position related to the reference planes using angular parameters.

Measurements results proved great and clinically significant systematic deviation (bias) of values measured and in angular measurements between 3D scans done with CBCT and 2D OPG done in digital orthopantomograph or generated from CBCT scans.

Due to the different results the 2D and 3D imaging techniques cannot be mutually replaced, and the information obtained from 2D material cannot be automatically applied on CBCT scans.

Authors have no commercial, proprietary or financial interests in products or companies mentioned in the article.

Literatura/References

1. Gavel, V.; Dermaut, L.: The effect of tooth position on the image of unerupted canines on panoramic radiographs. Eur. J. Orthodont. 1999, 21, s. 551 - 560.
2. Pittayapat, P.; Willems, G.; Alqerban, A.; Coucke, W.; Ribeiro - Rotta, R. F.; Souza, P. C.; Westphalen, F. H.; Jacobs, R.: Agreement between cone beam computed tomography images and panoramic radiographs for initial orthodontic evaluation. Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. 2014, 117, s. 111-119.
3. Elefteriadis, J. N.; Athanasiou, A. E.: Evaluation of impacted canines by means of computerized tomography. Int. J. Adult Orthodont. Orthognath. Surg. 1996, 11, s. 257-64.
4. Hutchinson, S. Y.: Cone beam computerized tomography panoramic images vs. traditional panoramic radiographs. Amer. J. Orthodont. Dentofacial Orthop. 2005, 128, 4, s. 550.
5. The SEDENTEXCT project. Radiation protection: Cone beam CT for dental and maxillofacial radiology. Evidence based guidelines. Luxembourg: European commission 2011, s. 1 - 139.
6. Haney, E.; Gansky, S. A.; Lee, J. S.; Johnson, E.; Maki, K.; Miller, A. J.: Comparative analysis of traditional radiographs and cone-beam computerized tomography volumetric images in the diagnosis and treatment planning of maxillary impacted canines. Amer. J. Orthodont. Dentofacial Orthop. 2010, 137, 5, s. 590 - 597.
7. Bornstein, M. M.; Scarfe, W. C.; Vaughn, V. M.; Jacobs, R.: Cone beam computerized tomography in implant dentistry: a systematic review focusing on guidelines, indications and radiation dose risk. Int. J. Oral. Maxillofac. Implants 2014, 29, s. 55-77.
8. Gijbels, F.; Jacobs, R.; Debaveye, D.; Bogaerts, R.; Verlinden, S.; Sanderink, G.: Dosimetry of digital panoramic imaging. Part II: occupational exposure. Dentomaxillofac. Radiol. 2005, 34, 3, s. 150 - 153.
9. Serrant, P. S.; McIntyre, G. T.; Thomson, D. J.: Localization of ectopic maxillary canines - is CBCT more accu-

- rate than conventional horizontal or vertical parallax? *J. Orthodont.* 2014, 41, s. 13 - 18.
10. Wriedt, S.; Jaklin, J.; Al-Nawas, B.; Wehrbein, H.: Impacted upper canines: examination and treatment proposal based on 3D versus 2D diagnosis. *J. Orofac. Orthop.* 2011, 73, 1, s. 28 - 40.
 11. Dubovská, I.; Špidlen, M.; Krejčí, P.; Voborná, I.; Harvan, Ľ.; Kotas, M.: Palatally impacted canines - factors affecting treatment duration. *IOSR-JDMS* 2015, 14, 2, s. 16-21.
 12. Stivaros, N. A.; Mandall, N. A.; Orth, M.: Radiographic Factors affecting the management of impacted upper permanent canines. *J. Orthodont.* 2000, 27, 2, s. 169-173.
 13. Stewart, J. A.; Heo, G.; Glover, K. E.; Williamson, P. C.; Lam, E. W. N.; Major, P. W.: Factors that relate to treatment duration for patients with palatally impacted maxillary canine. *Amer. J. Orthodont. Dentofacial Orthop.* 2001, 119, 3, s. 216-225.
 14. Ericson, S.; Kurol, J.: Radiographic examination of ectopically erupting maxillary canines. *Amer. J. Orthodont. Dentofacial Orthop.* 1987, 91,6, s. 483-492.
 15. McSherry, P.; Richardson, A.: Ectopic eruption of the maxillary canine quantified in three dimensions on cephalometric radiographs between the ages of 5 and 15 years. *Eur. J. Orthodont.* 1999, 21, 1, s. 41-48.
 16. Motamedi, M. H. K.; Tabatabaie, F. A.; Navi, F.; Shafeie, H. A.; Fard, B. K.; Hayati, Z.: Assessment of radiographic factors affecting surgical exposure and orthodontic alignment of impacted canines of the palate: A 15 - year retrospective study. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* 2009, 107, 6, s. 772 - 775.
 17. Kurol, J.; Ericson, S.; Andreasen, J. O.: The impacted maxillary canine. In: Andreasen JO, Kolsen - Petersen J, Laskin DM (eds.): Textbook and color atlas of tooth impactions. Copenhagen: Munksgaard; 1997. s. 126 - 162.
 18. Crescini, A.; Nieri, M.; Buti, J.; Baccetti, T.; Prato, G. P. P.: Orthodontic and periodontal outcomes of treated impacted maxillary canines. An appraisal of prognostic factors. *Angle Orthodont.* 2007, 77, 4, s. 571-577.
 19. Dahlberg, G.: Twin births and twins from a hereditary point of view. Stockholm: Bokförlags -a. -b. Tidens tryckeri. 1926.
 20. Dahlberg, G.: Statistical methods for medical and biological students. London: G. Allen and Unwin. 1948
 21. Bland, J. M.; Altman, D. G.: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986, 327, 8476, s. 307-310.
 22. Bland, J. M.; Altman, D. G.: Agreement between methods of measurement with multiple observations per individual. *J. Biopharm. Statist.* 2007, 17, 4, s. 571-582.
 23. Botticelli, S.; Verna, C.; Cattaneo, P. M.; Heidmann, J.; Melsen, B.: Two - versus three-dimensional imaging in subjects with unerupted maxillary canines. *Eur. J. Orthodont.* 2011, 33, 4, s. 344 - 349.
 24. Al-Ansari, N. B.; Ghaib, N. H.; Al- Naimi, S. H.: Diagnosis and localization of the maxillary impacted canines by using dental multi-slice computered tomography 3D view an reconstructed panoramic 2D view. *J. Bagh. Coll. Dentistry.* 2014, 26, 1, s. 159 - 165.
 25. Algerban, A.; Jacobs, R.; Fieuws, S.; Willems, G.: Comparison of two cone beam computed tomographic systems versus panoramic imaging for localization of impacted maxillary canines and detection of root resorption. *Eur. J. Orthod.* 2011, 33, s. 93 - 102
 26. Peck, J. L.; Sameshima, G. T.; Miller, A.; Worth, P.; Hatcher, D. C.: Mesiodistal root angulation using panoramic and cone beam CT. *Angle Orthodont.* 2007,77, s. 206 - 213.
 27. Pittayapat, P.; Willems, G.; Algerban, A.; Coucke, W.; Ribeiro-Rotta, R. F.; Souza, P. C.; Westphalen, F. H.; Jacobs, R.: Agreement between cone beam computered tomography images and panoramic radiographs for initial orthodontic evaluation. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol.* 2014, 117, s. 111 - 119.
 28. Van Vlijmen, O. J.; Kuitpers, M. A.; Bergé, S. J. et al.: Evidence supporting the use of cone-beam computed tomography in orthodontics. *J. Am. Dent. Assoc.* 2012, 143, s. 241 - 252.
 29. Eslami, E.; Barkhordar, H.; Abramovitch, K.; Kim, J.; Masoud, M. I.: Cone - beam computed tomography vs conventional radiography in visualization of maxillary impacted - canine localization: A systematic review of comparative studies. *Amer. J. Orthodont. Dentofacial Orthop.* 2017, 151, s. 248 - 58.

MUDr. Ivana Dubovská, Ph.D.
Klinika zubního lékařství FNOL a UPOL
Palackého 12, 772 00 Olomouc