

# Dvoudimenzionální versus trojdimenzionální měření polohy palatinálně retinovaných špičáků. Část III. Měření na kefalometrickém snímku, generovaném kefalometrickém snímku a CBCT

## 2D vs. 3D measurements of the position of palatally impacted canines. Part III. Measurements in cephalogram, generated cephalogram and CBCT



MUDr. Ivana Dubovská<sup>1</sup>, Ph.D., MDDr. Iva Voborná, Ph.D.<sup>1</sup>, MUDr. Eva Míšová, Ph.D.<sup>1</sup>, MUDr. Eva Sedlatá Jurásková, Ph.D.<sup>1</sup>, MDDr. Marek Remeš<sup>3</sup>, MUDr. Wanda Urbanová, Ph.D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> Oddělení ortodontie a rozštěpových vad, Stomatologická klinika 3. LF UK FNKV / Department of Orthodontics and Cleft Defects, Clinic of Stomatology, 3rd Faculty of Medicine, Charles University and University Hospital Královské Vnohrody (FNKV)

<sup>3</sup> Stomatologická klinika dětí a dospělých ve Fakultní nemocnici Motol / Department of Stomatology, 2nd Faculty of Medicine, Charles University in Prague and Motol University Hospital

### Souhrn

**Cíl:** Zjistit míru vzájemné zastupitelnosti 3 různých digitálních rentgenogramů pro určování polohy retinovaných horních špičáků – kefalometrického snímku, CBCT a kefalometrického snímku generovaného z CBCT pomocí určení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření pozice retinovaného zubu.

**Materiál a metodika:** Soubor tvořili pacienti ortodontického oddělení Kliniky zubního lékařství LF UP a FN Olomouc a Stomatologické kliniky UK a FN Hradec Králové. Z nich byli vybráni pacienti s retencí horního špičáku, kde byl před léčbou indikován kefalometrický a posléze i CBCT snímek, celkem 43 pacientů s 51 palatinálně retinovanými špičáky. Na kefalometrickém snímku, CBCT a kefalometrickém snímku generovaném z CBCT byla měřena vzdálenost hrotu špičáku a úhel dlouhé osy retinovaného špičáku k okluzní rovině. 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.

**Výsledky:** Byla prokázána dobrá míra opakovatelnosti určení polohy špičáků pro všechna tři rentgenová zobrazení. Reprodukovatelnost měření polohy retinovaných špičáků určením vertikální vzdálenosti hrotu vůči okluzní rovině byla dobrá, ale výsledky měření reprodukovatelnosti sklonu dlouhé osy špičáku k okluzní rovině se u jednotlivých rentgenových snímků lišily. Měření dále prokázala velkou soustavnou odchylku (bias) naměřených hodnot u úhlových měření mezi CBCT a digitálními kefalometrickými snímky nebo počítačově generovanými z CBCT snímků.

**Závěr:** Měření sklonu dlouhé osy špičáku k okluzní rovině není možné volně zaměnit mezi CBCT a 2D kefalometrickými snímky. Vertikální vzdálenost hrotu špičáku od okluzní roviny je jediným parametrem, u kterého je možné měření na 2D a 3D rentgenech vzájemně zaměnit.

(Ortodoncie 2021, 30, č. 2, s. 85-99)

### Abstract

**Aims:** We wanted to establish the degree of mutual substitutability of 3 different digital radiograms in defining location of impacted upper canines – cephalogram, CBCT, and cephalogram generated from CBCT, with the help of repeatability and reproducibility of measurement of an impacted tooth location.

**Material and method:** The sample included patients of orthodontic departments of the Institute of Dentistry and Oral Sciences, Faculty of Medicine and Dentistry, Palacky University and University Hospital Olomouc and the Clinic of Stomatology, Charles University and University Hospital Hradec Králové. We selected the patients with impacted upper canine with cephalogram and CBCT taken prior to treatment – 43 patients, 51 palatally impacted canines. The distance between canine cusp and occlusal plane, and angle of a long axis of impacted canine to occlusal plane were measured in cephalograms, CBCTs and in cephalograms generated from CBCT. To establish reliability of measurement in digital radiographs and mutual substitutability of digital radiographs made by three different techniques repeatability and reproducibility of measurement was evaluated.

**Results:** A good degree of repeatability of identification of canines location was proved in all three radiographic methods. Reproducibility of measurement of impacted canines location by defining vertical distance between canine cusp and occlusal plane was good, however, the results of reproducibility of canine long axis inclination to occlusal plane varied in different types of radiographs. Furthermore, measurements showed a big bias of values of angular measurements between CBCT and digital cephalograms or generated from CBCT scans.

**Conclusion:** Measurement of canine long axis inclination to occlusal plane is different in CBCT and 2D cephalograms. Vertical distance between canine cusp and occlusal plane is the only parameter the measurements of which are substitutable (2D and 3D).

(Ortodoncie 2021, 30, č. 2, s. 85-99)



**Klíčová slova:** retence špičáku, kefalometrický snímek, CBCT, generovaný kefalometrický snímek  
**Key words:** impacted canine, cephalogram, CBCT, CBCT-generated cephalogram

## Úvod

Přesné určení polohy retinovaného špičáku je důležité pro získání informací o délce a obtížnosti ortodontického zařazení zubu. Vertikální vzdálenost nad 15 mm od okluzní roviny je považována za faktor výrazně prodlužující léčbu [1, 2]. Čím apikálněji a horizontálněji je špičák uložen, tím horší je prognóza jeho zařazení [3].

2D boční kefalometrický snímek se zhotovuje za standardních podmínek, při kterých jsou přesně fixovány hlava pacienta v kefalostatu, rtg lampa a jejich vzájemný vztah je neměnný [4]. Při téměř kolmém dopadu rtg paprsků na senzor je zkreslení a jednostranné zvětšení obrazu malé [5], proto je tento sumační snímek metricky zpracovatelný. Mezi jeho nevýhody však patří překrývání jednotlivých anatomických struktur, deformace obrazu a rozdílné zvětšení mezi pravou a levou stranou [6] díky disparealitě rentgenových paprsků [7]. Jednostranné zvětšení výsledného obrazu je dáno vzdáleností mezi zdrojem, objektem a filmem – čím blíže bude objekt u zdroje, tím větší je zvětšení. Díky tomu vzrůstají i vzdálenosti mezi dvěma body a lineární měření proto mohou být nepřesná [8]. Proto může být obtížné přesně určit polohu retinovaného špičáku kvůli překrývání struktur, zejména u oboustranné retence. Pro určení polohy zubu musí být možné přesně určit orientaci jak filmu, tak centrálního paprsku v prostoru [9]. Gavel a Dermaut [10] ve své studii zjišťovali přínos kefalometrického snímku v kombinaci s OPG při diagnostice retinovaných špičáků – prokázali, že z kefalometrického snímku lze odečíst vertikální a sagitální vzdálenost incizálního hrotu, sklon k sagitální rovině a délku špičáku. Ve studii Štefkové a Kamínka [11] vertikální vzdálenost hrotu špičáku k okluzní rovině na kefalometrickém snímku měla s dobou léčby slabou korelaci těsně pod hladinou signifikance. Dubovská [12] ve svém výzkumu neprokázala vztah mezi vzdáleností hrotu

## Introduction

An accurate identification of impacted canine location is vital for information on duration and demands of orthodontic alignment of the tooth. Vertical distance from occlusal plane over 15 mm is considered to be the factor significantly prolonging the treatment [1,2]. The more apically and horizontally the canine is located, the worse prognosis of its alignment [3].

2D lateral cephalogram is taken under standard conditions – patient's head is properly fixed in cephalostat, X-ray tube and their mutual relationship is invariable [4]. When x-rays fall almost perpendicularly to a sensor, the distortion and unilateral magnification of an image is small [5], and therefore, this summarizing image can be metrically processed. Disadvantages include overlap of individual anatomical structures, image distortion, and different magnification on the right and left sides [6] due to disparallel x-rays [7]. Unilateral magnification of the resulting image is given by the distance between source of radiation, object and film – the closer the object to the source, the greater the magnification. Distance between two points increase, and therefore, linear measurements may be inaccurate [8]. Thus it is often difficult to precisely determine location of impacted canine, especially in bilateral impaction. To determine the tooth location it is necessary to determine orientation of the film and central x-ray in space [9]. Gavel and Dermaut [10] dealt with the benefits of cephalogram combined with OPG in diagnostics of impacted canines – they showed that it is possible to read vertical and sagittal distance of incisal cusp, inclination to sagittal plane, and canine length from a cephalogram. Štefková and Kamínek [11] proved weak correlation, just below the level of significance, between distance of canine cusp and occlusal plane in cephalogram, and the length of treatment. In her research Dubovská [12] did not prove the relationship between the distance of canine

špičáku od linie okluzy na kefalometrickém snímku a délkou léčby. Ke stejnému výsledku dospěla i Dospíšilová [13]. Naopak Kuro [14], Adam [15], Hasund, Šimsa [16] a McSherry [17] uvádí, že čím je špičák napřímenější, úhel od okluzní linie větší, tím je jeho prognóza lepší.

Při CBCT rentgenový paprsek vytváří kuželovitý svazek paprsků, který je namířen přes zobrazovanou oblast do Flat panelu umístěného kolmo na rentgenku a detekují cího záření v jedné době. Během rotace jsou získány sekvenční planární obrazy celé zobrazované oblasti. Výsledný prostorový obraz vzniká počítačovou rekonstrukcí z těchto dvourozměrných obrazů a je celistvý, bez prostorové deformace [18, 19]. Používání vysoko objemového (kraniofaciálního) CBCT jako rutinního radiologického vyšetření pro účely ortodontické terapie není doporučeno [20, 21] a musí být indikováno jedině v případě, že tradičním rentgenem s nižší radiační dávkou nelze uspokojivě zodpovědět všechny případné otázky o patologickém procesu [22]. V případě hodnocení polohy retinovaného špičáku není vždy nutno zhotovovat CBCT celé maxilofaciální oblasti. Zhotovením snímku s menším zobrazovacím polem můžeme využít vyšší zobrazovací schopnost [23] (menší voxel) a zároveň snížit dávku záření [24], z CBCT s omezeným FOV však nelze generovat kefalometrický snímek a určení přesné polohy hrotu retinovaného špičáku vůči definovaným rovinám je problematické, kvůli ztíženému určení rovin. Na CBCT se poloha retinovaného špičáku určuje pomocí lineárních a úhlových parametrů a pomocí určení vzájemné polohy vůči sousedním zubům. Můžeme hodnotit vzdálenost hrotu a sklon dlouhé osy špičáku od okluzní a vertikální roviny (v koronárním i sagitálním řezu). Vzájemná poloha retinovaného špičáku vůči sousedním zubům může být použita pro výpočet KPG indexu pro přesné určení jeho pozice [25].

Z CBCT je možné vygenerovat kefalometrický snímek bez jednostranného zvětšení a deformace obrazu. Zobrazení zcela odpovídá anatomické skutečnosti. Generování kefalogramu také umožňuje zobrazení pravé a levé strany lebky zvláště, čímž je možné zabránit překrývání struktur a odstranit struktury, které jsou nežádoucí [26]. V odborné literatuře při měřeních různých kranio-metrických parametrů na 2D kefalometrických snímcích a generovaných kefalogramech z CBCT nebyly mezi výslednými hodnotami nalezeny rozdíly [7, 26, 27]. Proto pokud je u pacienta indikováno zhotovení CBCT, je možné jej využít i pro kefalometrickou analýzu.

Je však otázkou, zda opravdu můžeme použít stejná měření, která používáme u kefalometrických snímků, a obzvláště stejné referenční hodnoty pro diagnostiku lokalizace retinovaných špičáků na CBCT a kefalometrickém snímku generovaném na CBCT.

cuspid and occlusal line in cephalogram and the treatment length. The same conclusion is given by Dospíšilová [13]. On the contrary, Kuro [14], Adam [15], Hasund, Šimsa [16], and McSherry [17] state that the upright the canine and the bigger the angle of occlusal line, the better the prognosis.

In CBCT x-rays form a conical bundle of rays directed through the depicted area to Flat panel placed perpendicularly to x-ray tube and detecting radiation at one time. During rotation sequence planar images of the whole depicted area are obtained. Resulting spatial image originates through computer reconstruction from the two-dimensional images and is compact, without spatial deformation [18,19]. The use of craniofacial CBCT as a routine radiographic examination for orthodontic therapy is not recommended [20,21] and must be indicated only when conventional x-ray with lower radiation dose cannot solve eventual questions about pathologies [22]. Evaluation of impacted canine location does not always require CBCT of the whole maxillofacial area. The scan of smaller area can provide higher resolution [23] (smaller voxel) and at the same time lower radiation dose [24]. However, from CBCT with limited FOV a cephalogram cannot be generated, and determination of a precise position of an impacted canine cusp in relation to planes defined poses a problem, because it is difficult to determine the planes. In CBCT the position of an impacted canine is determined with the help of linear and angular parameters and by its position to adjacent teeth. We can also evaluate the cusp distance and inclination of canine long axis from occlusal and vertical planes (in coronary and sagittal cross-section). The position of an impacted canine to adjacent teeth can be used to calculate KPG index in order to precisely establish its position [25].

From CBCT it is possible to generate cephalogram without unilateral magnification and image distortion. Image corresponds to anatomical reality. Generation of cephalogram also enables separate image of the right and left side of the skull, and thus we can avoid superimposition of structures, and can remove undesirable structures [26]. The resulting values of measurements of individual craniometric parameters in 2D cephalograms and in CBCT-generated cephalograms did not show any differences [7,26,27]. Therefore, if CBCT is indicated, it can be also used in cephalometric analysis.

Nevertheless, there is still a dispute whether we can use the same measurements applied in cephalograms and the same reference values, in particular, in diagnostics of impacted canine location in CBCT and in generated cephalogram.

## Aim

The aim of the study was to establish the degree of substitutability of 3 different digital radiographs in determi-

## Cíl práce

Cílem studie bylo zjištění míry vzájemné zastupitelnosti 3 různých digitálních rentgenogramů pro určování polohy retinovaných horních špičáků – kefalometrického snímku, CBCT a kefalometrického snímku generovaného z CBCT pomocí určení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření pozice retinovaného zubu.

## Materiál

Soubor tvořili pacienti ortodontického oddělení Kliniky zubního lékařství LF UP a FN Olomouc a Stomatologické kliniky UK a FN Hradec Králové. Z nich byli vybráni ti s palatinální retencí horního špičáku, u kterých bylo kromě OPG zhotoveno i CBCT kvůli podezření na resorpci laterálního řezáku a pro upřesnění kontaktu a pozice špičáku vůči laterálnímu řezáku. Dentální či skeletální klasifikace neměla vliv na zařazení do souboru. Pacienti s obličejovými syndromy či s aplázií byli ze souboru vyloučeni.

Kritéria pro zařazení do souboru byla: dobře čitelný kefalometrický snímek bez distorze (značka centrovaná uprostřed kolečka, bez výrazné stranové asymetrie v kontuře dolní čelisti) a bez artefaktů s možností kalibrace pomocí kalibrační křivky; CBCT bez artefaktů s dostatečným FOV, zhotovené s časovým odstupem maximálně dva týdny. Tato kritéria splňovalo 43 pacientů - 17 mužů (39,5 %) a 26 žen (60,5 %); průměrný věk 18 let 8 měsíců (SD ± 8,6 let; 9 let 11 měsíců až 42 let 3 měsíce). 8 pacientů mělo oboustranně retinované špičáky, jednostranná pravostranná retence byla u 19, levostranná u 16. Celkově bylo tedy posuzováno 51 palatinálně retinovaných špičáků.

## Metodika

Pro hodnocení byly použity kefalometrické snímky, CBCT a generované kefalometrické snímky z CBCT. Kefalometrické snímky byly zhotoveny na Planmeca Pro Max a Vatech Pax Duo při dávce záření 68 kVp, proudu rentgenky 10 mA. Veškeré 2D kefalometrické snímky byly kalibrovány podle kalibrační křivky přítomné na snímku. Měření na kefalometrických snímcích byla realizována v programu DfW Digora pro Windows (Soredex) dle metody Štefkové a Kamínka [11].

CBCT snímky byly zhotoveny na Planmeca Pro Max a Vatech Pax Duo s dávkou 84 kVp, proud rentgenkou byl 12 mA, tloušťka řezu 0,2 mm; a ukládány ve formátu DICOM 3. Hodnocení proběhlo v programu EZ3D plus premium. Před další manipulací byly jednotlivé snímky orientovány dle referenčních rovin. Horizontální rovina probíhala okluzní rovinou procházející horním řezákovým bodem a meziálními hrbolky horních prvních molárů. Vertikální rovina probíhala mezi dlouhými osami horních stálých středních řezáků, podél raphe palatinae přes

ning the position of impacted upper canines – cephalogram, CBCT, and cephalogram generated from CBCT – by means of determination of repeatability and reproducibility of measurement of an impacted canine position.

## Material

The sample included patients of the orthodontic departments of the Institute of Dentistry and Oral Sciences, Faculty of Medicine and Dentistry, Palacky University and University Hospital Olomouc, and the Clinic of Stomatology, Charles University and University Hospital Hradec Králové. Patients with palatally impacted maxillary canines were selected. Apart from OPG, CBCT was taken because of suspected resorption of lateral incisor, and in order to specify the canine contact and position to lateral incisor. Dental or skeletal classification did not affect the selection. Patients with facial syndromes or with aplasia were excluded from the sample.

The criteria were the following: readable cephalogram without distortion (the sign centered in the middle of the circle, no distinctive lateral asymmetries in the mandible contour) and without artifacts, enabling calibration with calibration curve; CBCT without artifacts and with sufficient FOV made within the interval of maximum two weeks. The criteria were met by 43 patients - 17 males (39.5%) and 26 females (60.6%); mean age was 10 years and 8 months (SD ±8.6 yrs; 9 yrs 11 months - 42 yrs 3 months). 8 patients had bilaterally impacted canines, unilateral right impacted canine was in 19, unilateral left impacted canine in 16 patients. The total of 51 palatally impacted canines were assessed.

## Method

Cephalograms, CBCT and cephalograms generated from CBCT were used in evaluation. Cephalograms were taken with Planmeca Pro Max and Vatech Pax Duo with radiation of 68 kVp, x-ray tube current 10 mA. All 2D cephalograms were calibrated according to calibration curve in the image. DfW Digora for Windows software (Soredex) was used for measurements according to Štefková and Kamínek methodology [11].

CBCTs were taken with Planmeca Pro Max and Vatech Pax Duo with radiation of 84 kVp, x-ray tube current 12 mA, slice thickness 0.2 mm, and were saved in DICOM 3 format. EZ3D Plus premium software was used for evaluation. Individual scans were oriented according to reference planes. Horizontal plane ran through occlusal plane running through upper incisal point and mesial cusps of upper first molars. Vertical plane ran between long axes of upper permanent central incisors, along raphe palatinae through spina nasalis anterior and posterior. Sagittal plane ran through incisal point.

spina nasalis anterior a posterior. Sagitální rovina probíhala řezákovým bodem. Horizontální, vertikální a sagitální rovina byly navzájem kolmé. Vycentrováný snímek byl uložen a použit pro generování kefalometrického snímku a jednotlivá měření.

Generovaný kefalometrický snímek byl vytvořen po ořezání poloviny obrazu, ve které se nenacházel retinovaný špičák pomocí funkce Cephalo. Generované kefalometrické snímky byly zhotoveny a měřeny v programu EZ3D Plus premium.

Měření bylo provedeno jedním zkušeným lékařem (I. D.) zběhlým v diagnostice a analýze polohy retinovaných špičáků. Opakovaná měření byla provedena stejným lékařem s dvouměsíčním odstupem po prvním měření. CBCT snímky byly hodnoceny jako první, za 4 měsíce poté byla provedena měření na kefalometrických snímcích a za 4 měsíce od hodnocení kefalometrických snímků byla změřena pozice retinovaného špičáku na generovaném kefalometrickém snímku. U každého pacienta byly hodnoceny dva parametry: vertikální vzdálenost hrotu špičáku od okluzní roviny a sklon dlouhé osy špičáku.

#### **Vertikální vzdálenost hrotu špičáku od okluzní roviny (v mm)**

##### Měření na kefalometrickém a generovaném kefalometrickém snímku

V počítačovém programu DfW Digora pro Windows (Soredex) pro kefalometrický snímek a v programu EZ3D Plus premium pro generovaný kefalometrický snímek byla narýsována linie roviny okluze. Okluzní rovina horního zubního oblouku byla proložena incizální hranou horních středních řezáků a středem mezi meziobukálními hrbolky horních prvních molárů. Dále byla narýsována kolmice od hrotu špičáku. 2D milimetrovým měřidlem byla změřena vzdálenost hrotu špičáku od okluzní roviny s přesností na 0,01 mm.

##### Měření na CBCT

V počítačovém programu EZ3D Plus premium byla zhotovena okluzní rovina horního zubního oblouku proložena incizální hranou horních středních řezáků a středem mezi meziobukálními hrbolky horních prvních molárů. Byla shodná s axiální rovinou (zelenou). V koronárním řezu byla sagitální rovina (oranžová) nastavena tak, aby zachycovala hrot špičáku. Rozšířením zobrazení sagitální roviny (oranžové) se zajistilo zobrazení celé korunky špičáku. To umožnilo nepřehlédnout nejnižší bod hrotu špičáku. Měření probíhalo na sagitálním řezu. Pro měření kolmé na rovinu okluze bylo potřeba, aby axiální rovina probíhala rovně (v jejím průběhu nebyly patrné schůdky) (Obr. 1).

Pomocí tříbodového 2D úhlu se vytvořil pravý úhel, který se přiložil v místě hrotu špičáku. 2D pravítkem

Horizontal, vertical and sagittal planes were perpendicular to each other. Centered scan was saved and used to generate cephalogram and for measurements.

CBCT-generated cephalogram was created after cutting off a half of an image (without impacted canine) with Cephalo function. EZ3D Plus premium software was used to create and measure generated cephalograms.

Measurements were performed by one experienced orthodontist (I.D.) skilled in diagnostics and analysis of impacted canines location. Repeated measurements were performed by the same orthodontist two months after the first one. CBCTs were evaluated first, 4 months later cephalograms were measured, and 4 months after evaluation of cephalograms the position of impacted canine was measured in CBCT-generated cephalogram. In each patient two parameters were evaluated: vertical distance between canine cusp and occlusal plane, and canine long axis inclination.

#### **Vertical distance between canine cusp and occlusal plane (in mm)**

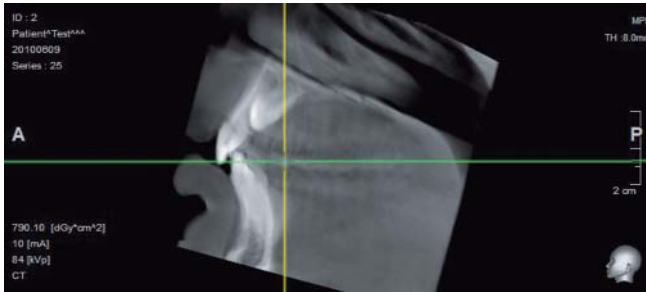
##### Measurements in cephalogram and generated cephalogram

In DfW Digora for Windows (Soredex) for cephalogram and in EZ3D Plus premium for generated cephalogram the line of occlusal plane was drawn. Occlusal plane of upper dental arch was placed in incisal edge of upper central incisors and the middle between mesiobuccal cusps of upper first molars. Then a perpendicular from canine cusp was drawn. 2D millimetre gauge was used to measure the distance between canine cusp and occlusal plane with the accuracy of 0.01 mm.

##### Measurements in CBCT

In EZ3D Plus premium occlusal plane of the upper dental arch placed in incisal edge of upper central incisors and the middle between mesiobuccal cusps of upper first molars was made. The occlusal plane was identical with axial plane (green). In the coronary section sagittal plane (orange) was set to show canine cusp. Expanded image of sagittal plane (orange) facilitated image of the whole crown of a canine. Thus the lowest point of canine cusp was not overlooked. Measurements were taken in sagittal section. For measurements perpendicular to occlusal plane axial plane must run straight (there were no steps visible) (Fig. 1).

With three-point 2D angle a right angle was formed that was placed at the site of canine cusp. 2D gauge was used to measure the distance between canine and axial-occlusal plane (green). 2D millimetre gauge was used to measure the distance between canine cusp and occlusal plane with the accuracy of 0.01 mm (Fig. 2).



Obr. 1. / Fig. 1.  
Nastavení axiální roviny. / Establishing of axial plane.



Obr. 2. / Fig. 2.  
Vertikální vzdálenost hrotu špičáku od okluzní roviny v sagitálním řezu na CBCT. / Vertical distance between canine cusp and occlusal plane in sagittal section in CBCT.

byla změřena vzdálenost hrotu špičáku kolmo na axiální – okluzní rovinu (zelená). 2D milimetrovým měřítkem byla změřena vzdálenost hrotu špičáku k okluzní rovině s přesností na 0,01 mm (Obr. 2).

#### Sklon (inklinace) dlouhé osy špičáku k okluzní rovině (ve stupních)

##### Měření na kefalometrickém a generovaném kefalometrickém snímku

V počítačovém programu DfW Digora pro Windows (Soredex) pro kefalometrický snímek a v programu EZ3D Plus premium byla narýsována linie roviny okluze. Dlouhá osa retinovaného špičáku byla narýsována tak, aby se s linií okluzní roviny protínala. 2D úhlovým měřítkem byl změřen úhel sklonu špičáku k okluzní rovině horního zubního oblouku s přesností na 0,01°.

##### Měření na CBCT

Sklon (inklinace) dlouhé osy špičáku k okluzní rovině (ve stupních) v sagitálním řezu byl měřen dle metodiky Štefkové a Kamínka [11]. Čtyřbodovým 2D úhlovým měřítkem v počítačovém programu EZ3D Plus premium se narýsovala dlouhá osa špičáku a okluzní (axiální, zelená)



Obr. 3. / Fig. 3.  
Sklon (inklinace) dlouhé osy špičáku k okluzní rovině v sagitálním řezu na CBCT. / Inclination of canine long axis to occlusal plane in sagittal section in CBCT.

#### Inclination of canine long axis to occlusal plane (in degrees)

##### Measurements in cephalogram and CBCT-generated cephalogram

In DfW Digora for Windows (Soredex) for cephalogram and in EZ3D Plus premium the line of occlusal plane was drawn. The impacted canine long axis was drawn to intersect the line of occlusal plane. 2D protractor was used to measure the angle of canine inclination to occlusal plane of upper dental arch with the accuracy of 0.01°.

##### Measurements in CBCT

The inclination of canine long axis to occlusal plane (in degrees) in sagittal section was measured using methodology according to Štefková and Kamínek [11]. Four-point 2D protractor was used to draw canine long axis and occlusal (axial, green) plane in EZ3D Plus premium software. The angle of canine inclination to occlusal plane was measured with 2D protractor with the accuracy of 0.01° (Fig. 3).

#### Statistical methods used

Measurement repeatability [28, 29] refers to the accuracy of measurements under the so-called set of conditions of measurement repeatability, i.e. the same procedure of measurement, the same staff, the same measuring system, the same working conditions, and the same place, as well as repeated measurements in the same object or similar object within a short time interval. Measurement repeatability was quantified with technical error of measurement (TEM) according to Dahlberg and the derived relative error of measurement (relative TEM, coefficient of variation (CV)) [28, 29]. Repeated measurements were performed 2 months after the first one by the same orthodontist in 10 randomly selected patients.

rovina. Úhel sklonu špičáku k okluzní rovině byl měřen 2D úhlovým měřidlem s přesností  $0,01^\circ$  (Obr. 3).

### Použité statistické metody

Opakovatelnost měření [28, 29] (measurement repeatability) znamená preciznost měření za tzv. souboru podmínek opakovatelnosti měření, tj. stejný postup měření, stejný obslužný personál, stejný měřicí systém, stejné pracovní podmínky a stejné místo, a opakování měření na stejném nebo podobných objektech v krátkém časovém úseku. Opakovatelnost měření byla kvantifikována technickou chybou měření (technical error of measurement, TEM) metodou dle Dalhberga a z ní odvozenou relativní chybou měření (relative TEM, coefficient of variation CV) [28, 29]. Opakovaná měření byla provedena 2 měsíce po prvním měření stejným lékařem na 10 náhodně vybraných pacientech.

Reprodukovatelnost měření [30,31] (measurement reproducibility) znamená preciznost měření za různých podmínek měření, tj. různá místa, obslužný personál, měřicí systémy a opakování měření na stejném nebo podobných objektech. V našem případě různé podmínky představují různé rentgenové snímky. Reprodukovatelnost 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) [30, 31]. Rozdílový graf slouží k postižení případného vztahu mezi velikostí průměru obou měření a velikostí rozdílů mezi nimi (proporční chyba), k nalezení systematické chyby (bias) při srovnávání dvou metod a k identifikaci odlehlých hodnot. Průměr opakovaných měření je vynášen na osu x a rozdíly dvojic měření na osu y. Horizontální linky na ose y (limity shody opakovaných měření) značí polohu průměrného rozdílu mezi oběma měřeními. Pokud se průměrný rozdíl liší jen nepatrně od nuly, nejví se u srovnávaných metod nebo pozorovatelů systematická chyba, v opačném případě je možno provést odhad její velikosti.

### Výsledky

#### Opakovatelnost měření

Největší technická chyba dvojího opakovaného měření byla zaznamenána u měření sklonu dlouhé osy špičáku k okluzní rovině na kefalometrických snímcích generovaných z CBCT (TEM =  $2,57^\circ$ ) i na dvourozměrných kefalometrických snímcích (TEM =  $1,25^\circ$ ). U měření vzdálenosti k okluzní rovině nepřesáhla technická chyba měření 0,41 mm (Tab. 1).

Relativní chyba měření (koeficient variability, CV) byla největší u měření vertikální vzdálenosti hrotu špičáku od okluzní roviny na generovaném kefalometrickém snímku (CV = 4,59 %) a CBCT (CV = 4,41 %). Relativní chyba mě-

Measurement reproducibility [30,31] refers to the accuracy of measurements under different conditions of measurement, i.e. various places, different staff, systems of measurement, and repeated measurement in the same object or in similar objects. In our case the different conditions meant different radiographs. Measurement reproducibility was quantified with coefficient of repeatability (CR) according to Bland and Altman, together with graphic visualization with Brand-Altman plots [30,31]. The plot is used to represent eventual relationship between mean values of both measurements and the differences between them (proportion error), to find systemic error (bias) when comparing two methods, and to identify outliers. The mean value of repeated measurements is plotted on x axis and the differences of pair of measurements on y axis. Horizontal lines on y axis (limits of repeated measurements concordance) represent the position of the mean difference between the two measurements. In case the mean difference is close to zero, there is no systemic error between the methods compared or between observers. If the opposite is true, the extent of systematic error (bias) can be estimated.

### Results

#### Measurement repeatability

The most distinct technical error (TEM) of double repeated measurement was recorded in the inclination of canine long axis to occlusal plane in cephalograms generated from CBCT (TEM =  $2.57^\circ$ ) as well as in 2D cephalograms (TEM =  $1.25^\circ$ ). In measurements of the distance to occlusal plane the technical error did not exceed 0.41 mm (Tab. 1).

Relative error of measurement (coefficient of variability, CV) was most distinct in vertical distance between canine cusp and occlusal plane in generated cephalogram (CV = 4.59%) and in CBCT (CV = 4.41%). Relative error of measurement in measurements of the inclination of canine long axis to occlusal plane was most distinct in cephalograms generated from CBCT (CV = 3.81%).

#### Measurement reproducibility

Reproducibility of measurements in digital radiographs taken with digital orthopantomograph, measurements in radiographs taken with CBCT, and measurements in digital cephalograms generated from CBCT scans, after exclusion of three outliers, were quantified with coefficient of repeatability (CR) according to Bland and Altman (Tab. 2) together with graphic visualization of the outcome.

#### Vertical distance between canine cusp and occlusal plane

Vertical distance between canine cusp and occlusal plane in cephalograms is significantly different between

ření u měření sklonu dlouhé osy špičáku k okluzní rovině byla největší na kefalometrických snímcích generovaných z CBCT (CV = 3,81 %).

#### Reprodukovatelnost měření

Reprodukovatelnost měření na digitálních rentgenogramech zhotovených na digitálním orthopantomografu, měření na rengenogramech zhotovených na CBCT a měření na digitálních kefalometrických snímcích generovaných z CBCT snímků, po vyloučení třech odlehých hodnot, byla kvantifikovaná koeficientem opakovatelnosti (coefficient of repeatability, CR) podle Blanda a Altmana (Tab. 2) spolu s grafickou vizualizací výstupu.

#### Vertikální vzdálenost hrotu špičáku od okluzní roviny

Vertikální vzdálenost hrotu špičáku od okluzní roviny na kefalometrických snímcích se ve statisticky významně míře soustavně liší mezi oběma planárními typy zobrazení vzájemně (soustavná chyba 0,5 mm,  $p < 0.01$ ). Mezi kefalometrickým snímkem pořízeným na 2D rtg a CBCT je

both planar types of images (systematic error 0.5 mm,  $p < 0.01$ ). Systematic error between 2D cephalogram and CBCT is only 0.2 mm ( $p > 0.05$ ), systematic error between generated cephalogram and CBCT is 0.4 mm ( $p < 0.05$ ) (Tab. 3, Fig. 4). In cephalograms and CBCT the distance between canine and occlusal plane differs by less than 0.5 mm on the average. Bland-Altman reproducibility coefficient after exclusion of 3 outliers between the three methods oscillated in the interval from 1.18 mm (between generated and 2D cephalogram) to 2.35 mm (between CBCT and 2D digital cephalogram).

Systematic error of reproducibility: in case the distance between impacted canine and occlusal line is small in CBCT the canine appears farther from the occlusal plane in 2D cephalogram than in CBCT. In case the distance in CBCT is big the planar cephalogram shows lower value than CBCT (Fig. 5).

#### Inclination of canine long axis to occlusal plane

Inclination of canine long axis to occlusal plane in cephalograms and CBCT is significantly different only between 2D cephalogram and CBCT – systematic error is  $2.7^\circ$  ( $p < 0.05$ ). Systematic error between generated cephalogram and CBCT is only  $1.2^\circ$  ( $p > 0.05$ ), between the two cephalograms the systematic error is  $1.8^\circ$  ( $p > 0.05$ ). In the two cephalograms palatally impacted canine is located slightly more horizontally than in CBCT (Tab.4, Fig.9). In cephalograms and CBCT inclination of canine to occlusal plane differs by less than  $3^\circ$  on the average. Bland-Altman reproducibility coefficient after exclusion of three outliers between the three methods of imaging oscillated within the interval from  $14.82^\circ$  (between generated and 2D cephalogram) to  $15.26^\circ$  (between CBCT and generated cephalogram).

Systematic error of reproducibility: the lower the degree of canine inclination to occlusal line in CBCT (canine inclines more horizontally), the higher its value in planar cephalogram (Fig. 10). The more upright the canine in

**Tab. 1 / Tab. 1.** Opakovatelnost měření polohy špičáku na digitálních rentgenogramech: technická chyba měření (technical error of measurement, TEM) metodou dle Dalhberga. / Repeatability of measurement of canine position in digital radiographs: technical error of measurement (TEM) according to Dahlberg.

		N	Mean	TEM (SD)	CV (%)
mmOL	2D	10	8,55	0,22	2,63
	GEN	10	7,90	0,41	4,59
	CT	10	8,66	0,38	4,41
StOL	2D	10	66,99	1,25	1,87
	GEN	10	67,51	2,57	3,81
	CT	10	66,59	0,89	1,34

2D = kefalometrické snímky, CT = rengenogramy zhotovené na CBCT, GEN = digitální kefalometrické snímky generované z CBCT snímků; mmOL = vertikální vzdálenost hrotu špičáku od okluzní roviny na kefalometrických snímcích, StOL = sklon (inklinace) dlouhé osy špičáku k okluzní rovině na kefalometrických snímcích; TEM (SD) = technická chyba měření (TEM); CV (%) = koeficient variability (relative TEM).

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

			N	Mean	SD	LLoA	ULoA	CR	p-value
mmOL	2D	GEN	48	0,48	1,09	-2,61	1,66	1,18	0,004
	CT	2D	48	0,16	1,20	-2,19	2,51	2,35	0,365
	CT	GEN	48	-0,39	1,16	-2,65	1,88	2,27	0,022
StOL	2D	GEN	48	-1,78	7,56	-16,60	13,04	14,82	0,109
	CT	2D	48	2,66	7,57	-12,18	17,50	14,84	0,019
	CT	GEN	48	1,17	7,79	-14,09	16,43	15,26	0,294

2D = digitální kefalometrický snímek, CT = rengenogramy zhotovené na CBCT, GEN = digitální kefalometrické snímky generované z CBCT snímků; mmOL = vertikální vzdálenost hrotu špičáku od okluzní roviny na kefalometrických snímcích, StOL = sklon (inklinace) dlouhé osy špičáku k okluzní rovině na kefalometrických snímcích; Mean = průměr rozdílů opakovaných měření, SD = směrodatná odchylka rozdílů opakovaných měření, ULoA, LLoA = horní a dolní limit shody; p-value = statistická významnost rozdílu – soustavná chyba (bias), analogie párového t-testu.



soustavná chyba jen 0,2 mm ( $p > 0.05$ ), mezi generovaným kefalometrickým snímkem a CBCT je soustavná chyba 0,4 mm ( $p < 0.05$ ) (Tab. 3, Obr. 4). Vzdálenost špičáku od okluzní roviny se na kefalometrických snímcích a CBCT snímcích liší průměrně o méně než 0,5 mm. Bland-Altmanův koeficient reprodukovatelnosti po vyloučení 3 odlehlých hodnot mezi všemi třemi metodami zobrazení kolísá v rozmezí od 1,18 mm (mezi generovaným a 2D kefalometrickým snímkem) do 2,35 mm (mezi CBCT a 2D digitálním kefalometrickým snímkem).

Soustavná chyba v reprodukovatelnosti: pokud je na CBCT vzdálenost retinovaného špičáku od okluzní linie malá, jeví se špičák na 2D kefalometrickém snímku dále od roviny okluze než na CBCT. Pokud je vzdálenost na CBCT velká, bude planární kefalometrický snímek ukazovat hodnotu nižší než CBCT (Obr. 5).

#### Sklon (inklinace) dlouhé osy špičáku k okluzní rovině

Sklon (inklinace) dlouhé osy špičáku k okluzní rovině na kefalometrických snímcích a CBCT se ve statisticky významné míře soustavně liší pouze mezi kefalometrickým snímkem pořízeným na 2D rtg a CBCT, kde je soustavná chyba 2,7° ( $p < 0.05$ ). Mezi generovaným kefalometrickým snímkem a CBCT je soustavná chyba jen 1,2° ( $p > 0.05$ ), mezi oběma kefalometrickými snímky vzájemně je soustavná chyba 1,8° ( $p > 0.05$ ). Palatinálně retinovaný špičák je na obou kefalometrických snímcích uložený mírně horizontálně než na CBCT (Tab. 4, Obr. 9). Sklon špičáku od okluzní roviny se na kefalometrických snímcích a CBCT snímcích liší průměrně o méně než 3°. Bland-Altmanův koeficient reprodukovatelnosti po vyloučení 3 odlehlých hodnot mezi všemi třemi metodami zobrazení kolísá v rozmezí od 14,82° (mezi generovaným a 2D kefalometrickým snímkem) až 15,26° (mezi CBCT a generovaným kefalometrickým snímkem).

Soustavná chyba v reprodukovatelnosti: čím je stupeň sklonu špičáku k okluzní linii na CBCT menší (špičák je horizontálněji skloněn), tím je na planárním kefalometrickém snímku jeho hodnota větší (Obr. 10). Čím je špičák napřímenější na CBCT, tím má kefalometrický snímek tendenci úhel nedodimenzovat (je menší). (CBCT - kefalometrický snímek je negativní číslo).

### Diskuse

#### Opakovatelnost měření

Největší chyba měření byla zaznamenána u měření sklonu dlouhé osy špičáku k okluzní rovině na kefalometrických snímcích generovaných z CBCT (TEM = 2,57°). U generovaných kefalometrických snímků může být chyba způsobena odlišnou pozicí hlavy – pokud není pacient správně vycentrován, proces generace kefalometrického

CBCT, the smaller the angle in cephalogram. (CBCT-cephalogram is a negative number.)

### Discussion

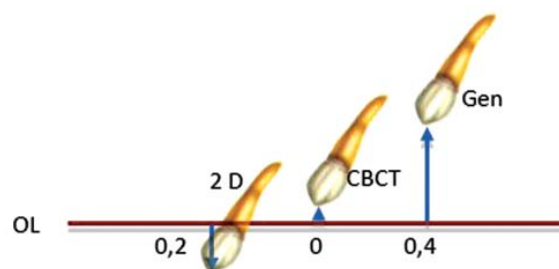
#### Measurement repeatability

The biggest error of measurement was recorded for the inclination of canine long axis to occlusal plane in cephalograms generated from CBCT (TEM = 2.57°). The error may be due to a different head position – in case

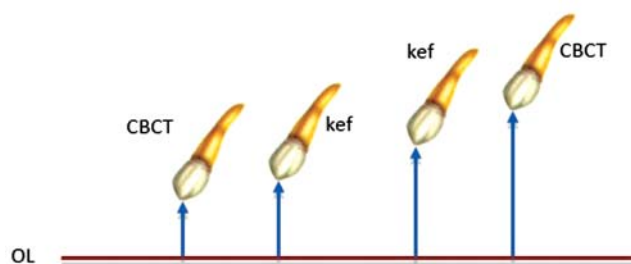
**Tab. 3. / Tab. 3.** Soustavná chyba v reprodukovatelnosti měření na digitálních rentgenogramech [mm]. / Systematic error of measurement reproducibility in digital radiographs (mm)

mm k OL	CT	Gen	2D
CT		-0,4	0,2
Gen	0,4		0,5
2D	-0,2	-0,5	

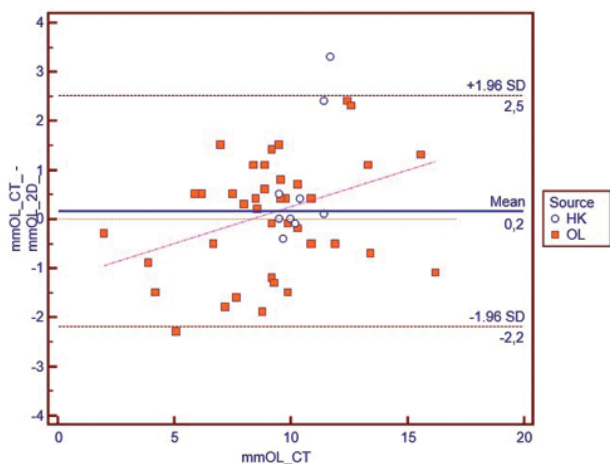
CT = rentgenogramy zhotovené na CBCT, Gen = digitální kefalogram generovaný z CBCT snímků; 2D = digitální kefalogram zhotovený na 2D digitálním rtg, mm k OL = vertikální vzdálenost špičáku od okluzní roviny na kefalometrickém snímku a CBCT.



**Obr. 4. / Fig. 4.** Soustavná chyba v reprodukovatelnosti měření vertikální vzdálenosti hrotu špičáku od okluzní roviny na kefalometrických snímcích a CBCT. / Systematic error in reproducibility of measurement of vertical distance between canine cusp and occlusal plane in cephalograms and in CBCT.

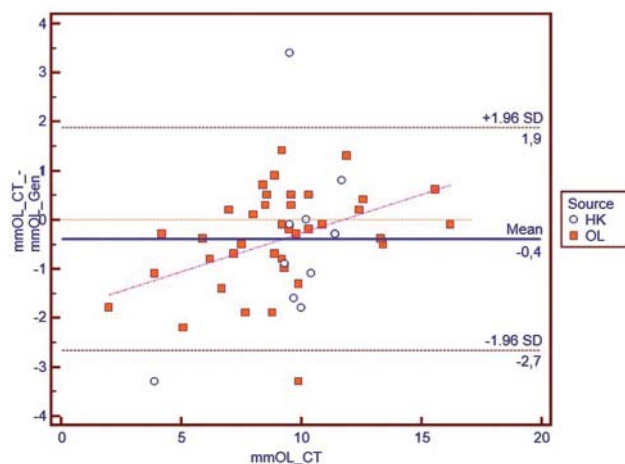


**Obr. 5. / Fig. 5.** Pokud je na CBCT vzdálenost retinovaného špičáku od okluzní linie malá, jeví se špičák na 2D kefalometrickém snímku (na 2D kefalometrickém snímku i generovaném kefalometrickém snímku) dále od roviny okluze než na CBCT. Pokud je vzdálenost na CBCT velká, bude planární kefalometrický snímek ukazovat hodnotu nižší než CBCT. / Systematic error of reproducibility: in case the distance between impacted canine and occlusal line is small in CBCT the canine appears farther from the occlusal plane in 2D cephalogram (in 2D cephalogram as well as in generated cephalogram) than in CBCT. In case the distance in CBCT is big the planar cephalogram shows lower value than CBCT.



Obr. 6. / Fig. 6.

Bland-Altmanův rozdílový graf pro reprodukovatelnost měření vertikální vzdálenosti hrotu špičáku od okluzní roviny na 2D kefalometrickém snímku a CBCT. Průměr opakovaných měření mmOL\_CT (vzdálenost hrotu špičáku od okluzní roviny na CBCT) je vynášen na osu x a rozdíly dvojic měření mmOL-CT a mmOL\_2D (vzdálenost hrotu špičáku od okluzní roviny na CBCT a na 2D kefalometrickém snímku) na osu y. Horizontální linky (na ose y) značí polohu průměrného rozdílu mezi oběma měřeními. Další dvě horizontální linky jsou limity shody opakovaných měření. / Bland-Altman plot of reproducibility of measurement of vertical distance between canine cusp and occlusal plane in 2D cephalogram and in CBCT. The mean of repeated measurements mmOL\_CT (the distance of canine cusp from occlusal plane in CBCT) is marked on axis x and the differences of measurements mmOL-CT and mmOL\_2D (the distance of canine cusp from occlusal plane in CBCT and 2D in cephalogram) in axis y. 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.



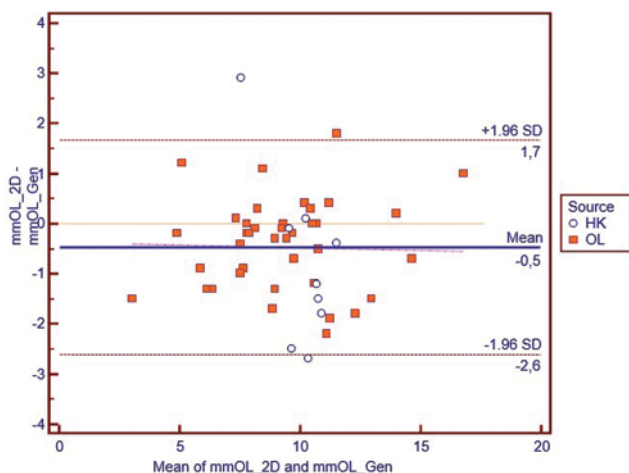
Obr. 7. / Fig. 7.

Bland-Altmanův rozdílový graf pro reprodukovatelnost měření vertikální vzdálenosti hrotu špičáku od okluzní roviny na CBCT a generovaném kefalometrickém snímku. / Bland-Altman plot of reproducibility of measurement of vertical distance between canine cusp and occlusal plane in CBCT and generated cephalogram.

Tab 4. / Tab. 4. Soustavná chyba v reprodukovatelnosti měření na digitálních rentgenogramech [mm]. / Systematic error in reproducibility of measurement in digital radiographs (mm).

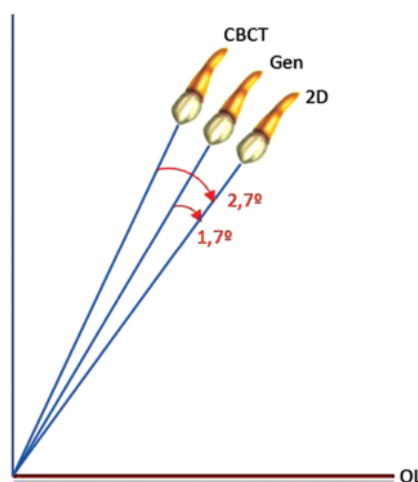
St k OL	CT	Gen	2D
CT		1,2	2,7
Gen	-1,2		1,8
2D	-2,7	-1,8	

CT = rentgenogramy zhotovené na CBCT, Gen = digitální kefalometrický snímek generovaný z CBCT snímků; 2D = digitální kefalometrický snímek zhotovený na 2D digitálním rtg, St k OL = sklon špičáku od okluzní roviny na kefalometrickém snímku a CBCT.



Obr. 8. / Fig. 8.

Bland-Altmanův rozdílový graf pro reprodukovatelnost měření na 2D kefalometrickém snímku a generovaném kefalometrickém snímku. / Bland-Altman plot of reproducibility of measurement of vertical distance between canine cusp and occlusal plane in 2D cephalogram and in generated cephalogram.

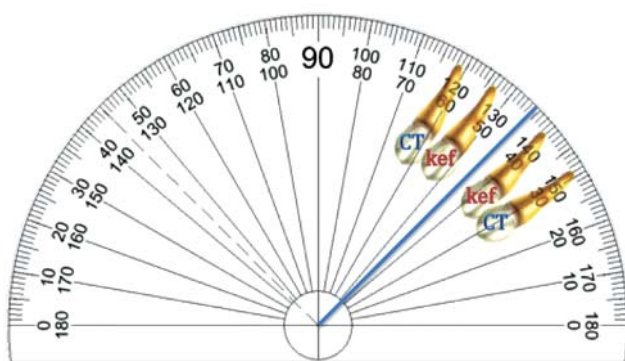


Obr. 9. / Fig. 9.

Soustavná chyba v reprodukovatelnosti měření na digitálních rentgenogramech. / Systematic error in reproducibility of measurement in digital radiographs.

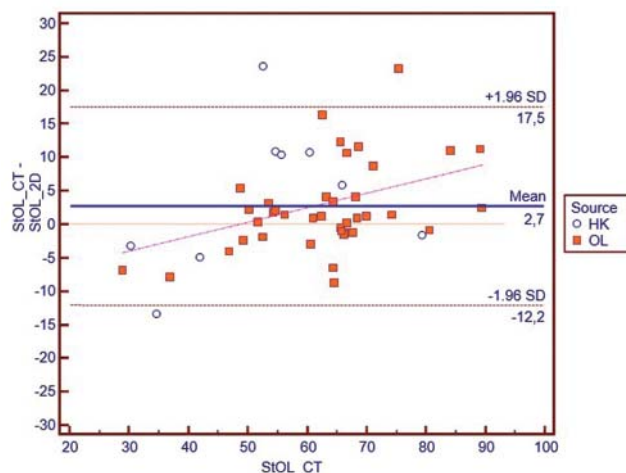
snímku v programu EZ3D Plus premium neumožňuje nejdříve vycentrovat snímek. Proto může při tvorbě generovaného kefalometrického snímku docházet k chybám. Toto postavení není možno zkontrolovat pomocí kefalostatických značek jako na 2D kefalometrickém snímku. Klinicky je tedy důležité před generováním kefalometrického snímku zkontrolovat, jestli je pozice hlavy pacienta správně vycentrována. Pokud není, je možné použít měření přímo na CBCT, kde chyba měření v důsledku generování kefalometrického snímku bez iniciálního

a patient is not properly centered the proces of cephalogram generation in EZ3D Plus premium software does not allow for the scan centring. The position cannot be checked with cephalostat marks (as it is possible in 2D cephalograms). From the clinical viewpoint it is important to check the correct centring of the head prior to generation of cephalogram. In case the head is not properly centered, measurement can be performed in CBCT where there is not an error of measurement due to generation of cephalogram without prior centring. In mea-



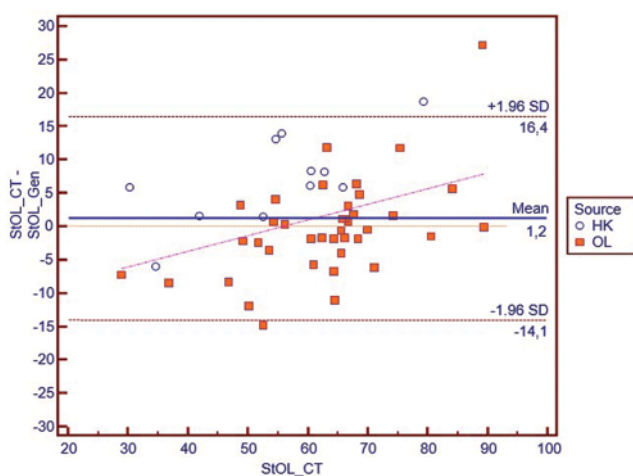
Obr. 10. / Fig. 10.

Čím je stupeň sklonu špičáku k okluzní linii na CBCT menší (špičák je horizontálněji skloněn), tím je na planárním kefalometrickém snímku jeho hodnota větší. Čím je špičák napřímenější na CBCT, tím má kefalometrický snímek tendenci úhel nedodimenzovat (je menší). / Systematic error of reproducibility: the lower the degree of canine inclination to occlusal line in CBCT (canine inclines more horizontally), the higher its value in planar cephalogram. The more upright the canine in CBCT, the smaller the angle in cephalogram.



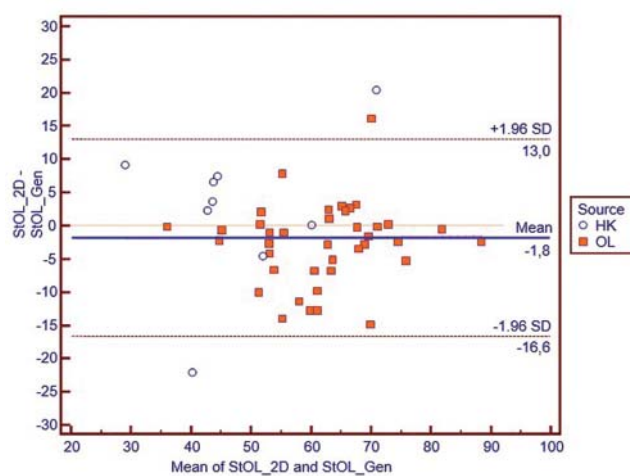
Obr. 11. / Fig. 11.

Bland-Altmanův rozdílový graf pro reprodukovatelnost měření sklonu špičáku od okluzní roviny na 2D kefalogramu a CBCT. / Bland-Altman plot for reproducibility of measurement of canine inclination to occlusal plane in 2D cephalogram and CBCT.



Obr. 12. / Fig. 12.

Bland-Altmanův rozdílový graf pro reprodukovatelnost měření sklonu špičáku od okluzní roviny na CBCT a generovaném kefalogramu. / Bland-Altman plot for reproducibility of measurement of canine inclination to occlusal plane in CBCT and generated cephalogram.



Obr. 13. / Fig. 13.

Bland-Altmanův rozdílový graf pro reprodukovatelnost měření sklonu špičáku od okluzní roviny na 2D kefalometrickém snímku a generovaném kefalometrickém snímku. / Bland-Altman plot for reproducibility of measurement of canine inclination to occlusal plane in 2D cephalogram and generated cephalogram.

vycentrování není. U měření vzdálenosti k okluzní rovině nepřesáhla technická chyba měření 0,41 mm.

Relativní chyba měření u měření sklonu dlouhé osy špičáku k okluzní rovině byla největší na kefalometrických snímcích generovaných z CBCT (CV = 3,81 %). Kvůli možnému posunu generovaných kefalometrických snímků vzhledem k nevycentrované poloze hlavy, byla relativní chyba měření vertikální vzdálenosti hrotu i sklonu špičáku v rozsahu od 3 % do 5 %.

Relativní chyba měření byla větší u měření vertikální vzdálenosti hrotu špičáku od okluzní roviny na generovaném kefalometrickém snímku (CV = 4,59 %) a CBCT (CV = 4,41 %) než na digitálním kefalometrickém snímku (CV = 2,63 %). Dle Pittayapat [32] relativní chyba měření lineárních parametrů pro CBCT byla nižší (CV = 5,7 %) než u kefalometrického snímku (pro kefalometrický snímek zhotovený ze 3metrové vzdálenosti CV = 6,5 %, z 1,5metrové vzdálenosti CV = 6,1 %). Důvodem může být, že na rozdíl od něho jsme měřili vzdálenost bodu k rovině, a ne dva body navzájem i na CBCT. Chyba měření mohla být způsobena metodikou měření a nutností převést 3D rovinu na 2D linii. Pro identifikaci roviny byl použit ořez roviny. Klinicky chyba měření do 0,41 mm není relevantní.

Na druhé straně stejnou opakovatelnost měření na CBCT a na 2D kefalometrických snímcích potvrdil Gribel [33], kdy intraclass correlation coefficient pro 3D byl 0,99 a pro 2D 0,98. Souhlasně s našimi výsledky potvrdil Damstra [34] větší ICC (0,99) pro 2D kefalometrické snímky než pro 3D (0,88). Stejný výsledek potvrdil i van Vlijmen [35].

#### Reprodukovatelnost měření vertikální vzdálenosti hrotu špičáku od okluzní roviny

Vertikální vzdálenost hrotu špičáku od okluzní roviny na kefalometrických snímcích se ve statisticky významné míře soustavně liší mezi oběma planárními typy zobrazení vzájemně. Tento rozdíl je ale klinicky nevýznamný, protože vzdálenost špičáku od okluzní roviny se na kefalometrických snímcích a CBCT snímcích liší průměrně o méně než 0,5 mm.

Bland-Altmanův koeficient reprodukovatelnosti byl nejlepší ze všech statisticky zkoumaných parametrů a mezi všemi třemi metodami zobrazení kolísá v rozmezí od 1,18 mm (mezi generovaným a 2D kefalometrickým snímkem) do 2,35 mm (mezi CBCT a 2D digitálním kefalometrickým snímkem). To znamená klinicky výbornou reprodukovatelnost. Vertikální vzdálenost hrotu špičáku od okluzní roviny je tedy jediným parametrem, u kterého je možné měření na kefalometrických snímcích a CBCT vzájemně zaměnit.

Dle Pittayapat [32] reprodukovatelnost měření mezi CBCT a oba druhy kefalometrických snímků se význam-

surements of the distance to occlusal plane the TEM did not exceed 0.41 mm.

Relative error of measurement in measuring the inclination of canine long axis to occlusal plane was most distinct in generated cephalograms (CV = 3.81%). Relative error of measurement of the vertical distance of canine cusp and canine inclination oscillated between 3% and 5%. The error was caused by the potential shift of cephalograms due to not centered position of the head.

Relative error of measurement was the more distinct in measuring vertical distance between canine cusp and occlusal plane in generated cephalogram (CV = 4.59%) and in CBCT (CV = 4.41%); in digital cephalogram it was 2.63%. According to Pittayapat [32] relative error of measurement in measuring linear parameters was lower in CBCT (CV = 5.7%) than in cephalogram (in cephalogram taken at 3 meters distance CV = 6.5%, at 1.5 metres distance CV = 6.1%). Unlike Pittayapat we measured the distance of the point to the plane in CBCT, not between two points. Error of measurement might be due to the method used and due to the transfer of 3D plane to 2D line. To identify the plane we used cropped plane. From the clinical viewpoint error of measurement up to 0.41 mm is irrelevant.

The same repeatability of measurements in CBCT was proved by Gribel [33] - intraclass correlation coefficient for 3D was 0.99 and for 2D 0.98. Damstra [34] also proved higher ICC (0.99) for 2D cephalograms compared to 3D (0.88). The same results were proved by van Vlijmen [35]. These outcomes agree with our results.

#### Reproducibility of measurements of vertical distance between canine cusp and occlusal plane

Vertical distance between canine cusp and occlusal plane in cephalograms differs significantly between the two planar radiographs. However, the difference is clinically insignificant because distance between canine and occlusal plane differs in cephalograms and CBCT by less than 0.5 mm on the average.

Bland-Altman reproducibility coefficient was the best among all statistically examined parameters and between the three methods of imaging it oscillated within the interval from 1.18 mm (between generated and 2D cephalogram) to 2.35 mm (between CBCT and digital cephalogram). This means clinically outstanding reproducibility. Thus the vertical distance between canine cusp and occlusal plane is the only parameter where CBCT and cephalograms may be substituted.

According to Pittayapat [32] reproducibility of measurement is significantly different ( $p < 0.05$ ) between CBCT and the two cephalograms in all linear parameters. Measurement reproducibility of linear parameters of a cepha-

ně liší ( $p < 0,05$ ) pro všechny lineární parametry. Rovněž reprodukovatelnost kefalometrického snímku zhotoveného ze 3 metrů byla nižší než u CBCT nebo kefalometrického snímku zhotoveného z 1,5 m pro lineární parametry.

#### Reprodukovatelnost měření sklonu dlouhé osy špičáku k okluzní rovině

Naměřený sklon palatinálně retinovaného špičáku je na obou kefalometrických snímcích menší než na CBCT. Liší se průměrně o méně než  $3^\circ$ . Vzájemný rozdíl je velice malý a klinicky nevýznamný. Tato diference může být u klasických snímků způsobena překrýváním druhostranných struktur, což můžeme u generovaného kefalometrického snímku vyloučit, protože jej vytváříme jen z poloviny CBCT, kde je retinovaný špičák lokalizován. Reprodukovatelnost měření je ale malá, Bland-Altmanův koeficient reprodukovatelnosti výrazně kolísá v rozmezí od  $14,82^\circ$  (mezi generovaným a 2D kefalometrickým snímkem) do  $15,26^\circ$  (mezi CBCT a generovaným kefalometrickým snímkem).

Varghese [36] publikoval v roce 2010 studii, která ukazovala větší přesnost CBCT než 2D kefalometrických snímků. Olmez [37] i Gribel [33] ukázali, že není signifikantní rozdíl mezi CBCT a fyzickým měřením, kdežto 2D měření na kefalometrickém snímku vykazuje signifikantní odchylku od fyzického měření.

Úkolem naší studie nebylo říci, které měření je správné, ale jestli se významně liší. Z naší studie vyplývá, že měření sklonu dlouhé osy špičáku k okluzní rovině není možno volně zaměnit mezi CBCT a 2D kefalometrickými snímky. Vertikální vzdálenost hrotu špičáku od okluzní roviny je tedy jediným parametrem, u kterého je možné měření na kefalometrických snímcích a CBCT vzájemně zaměnit.

## Závěr

1. Byla prokázána dobrá a klinicky uspokojivá míra opakovatelnosti určení polohy špičáků pro všechny sledované typy rentgenogramů v lineárních i úhlových charakteristikách jejich polohy.
2. Dobrá a klinicky akceptovatelná reprodukovatelnost měření byla zjištěna u určení vzdálenosti hrotu špičáku vůči okluzní rovině pro všechny sledované typy rentgenogramů.
3. Špatná a klinicky nedostatečná reprodukovatelnost byla u měření sklonu dlouhé osy špičáku k okluzní rovině pro všechny sledované typy rentgenogramů.
4. Velká a klinicky podstatná soustavná odchylka (bias) naměřených hodnot byla nalezena u úhlových měření mezi třídimenzionálními snímky čelistí zhotovenými na CBCT a mezi kefalometrickými snímky zhotovenými na digitálním orthopantomografu nebo počítačově generovanými z CBCT snímků.

logram taken at 3 meters is lower than in CBCT or cephalogram taken at 1.5 m.

#### Reproducibility of measurement of the inclination of canine long axis to occlusal plane

Inclination of palatally impacted canine is smaller in both types of cephalograms than in CBCT (by less than  $3^\circ$  on the average). The difference between the two cephalograms is minor and clinically insignificant. The difference may be caused by superimposition of structures on the opposite side. However, this does not hold for generated cephalogram as it is generated from that half of CBCT where an impacted canine is located. Measurement reproducibility is rather low; Bland-Altman coefficient oscillated within the interval from  $14.82^\circ$  (between generated and 2D cephalogram) to  $15.26^\circ$  (between CBCT and generated cephalogram).

In 2010 Varghese [36] published the study showing better accuracy of CBCT than 2D cephalograms. Olmez [37] as well as Gribel [33] proved that there is no significant difference between CBCT and physical measurement, whilst 2D measurement in cephalogram shows significant deviation from a physical measurement.

The aim of our study was not to decide which type of measurement is correct but to find out whether there are significant differences between the individual types. Our study suggests that we cannot substitute CBCT and 2D cephalograms when measuring the inclination of canine long axis to occlusal plane. Therefore, vertical distance between canine cusp and occlusal plane is the only parameter where we can substitute measuring in CBCT and in cephalograms.

## Conclusion

1. Good and clinically sufficient degree of repeatability of determination of canine location was proved in all radiographs in linear as well as angular parameters.
2. Good and clinically acceptable measurement reproducibility was found in determining of the distance between canine cusp and occlusal plane for all radiographs assessed.
3. Bad and clinically insufficient reproducibility was found in measuring of the inclination of canine long axis to occlusal plane in all radiographs assessed.
4. Distinct and clinically significant bias of the values measured was found in angular measurements between 3D scans of jaws taken with CBCT, and cephalograms taken with digital orthopantomograph or generated from CBCT scans.

5. To znamená, že výsledky měření sklonu dlouhé osy špičáku k okluzní rovině není možno volně zaměnit mezi CBCT a 2D kefalometrickými snímky.

6. Vertikální vzdálenost hrotu špičáku od okluzní roviny je jediným parametrem, u kterého je možné měření na kefalometrických snímcích a CBCT vzájemně zaměnit.

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

5. The above stated means that when measuring the inclination of canine long axis to occlusal plane CBCT and 2D cephalograms are not substitutable.

6. Vertical distance between canine cusp and occlusal plane is the only parameter where we can substitute measurements in cephalograms with measurements in CBCT.

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



## Literatura / References

1. Vermette, M.; Kokich, V.; Kennedy, D.: Uncovering labially impacted teeth: apically positioned flap and closed-eruption techniques. *Angle Orthodont.* 1995, 65, č. 1, s. 23–32.
2. 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 canines. *Amer. J. Orthodont. dentofacial Orthop.*, 2001, 119, č. 3, s. 216–225.
3. McSherry, P.: The assessment of and treatment options for the burried maxillary canine. *Dent. Update*, 1996, 23, č. 1, s. 7–10.
4. Kamínek, M.; Štefková, M.: *Ortodoncie I.* Olomouc: Univerzita Palackého Olomouc, 2001.
5. Krejčí P. a kol.: *Dentální radiologie.* Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, Lékařská fakulta, 2006.
6. Zöllner, J. E.; Neugebauer, J.: *Cone-beam Volumetric Imaging in Dental. Oral and Maxillofacial medicine.* New Malden: Quintessence Publishing 2008.
7. Van Vlijmen, O. J.; Bergé, S. J.; Swennen, G. R.; Bronkhorst, E. M.; Katsaros, C.; Kuijpers-Jagtman, A. M.: Comparison of cephalometric radiographs obtained from cone-beam computerized tomography scans and conventional radiographs. *J. oral maxillofacial Surg.* 2009, 67, č. 1, s. 92–97.
8. Gribel, B. F.; Gribel, M. N.; Manzi, F. R.; Brooks, S. L., McNamara, J. A. Jr.: From 2D to 3D. an algorithm to derive normal values for 3-dimensional computerized assessment. *Angle Orthodont.* 2011, 81, č. 1, s. 3–10.
9. Černochová, P.: *Diagnostika retinovaných zubů.* Praha: Grada, 2006.
10. Gavel, V.; Dermaut, L.: The effect of tooth position on the imaged of unerupted canines on panoramic radiographs. *Eur. J. Orthodont.* 1999, 21, č. 5, s. 551–560.
11. Štefková, M.; Kamínek, M.: Poloha retinovaných špičáků a doba léčení. *Čs. Stomat.* 1979, 79, č. 6, s. 424–430.
12. Dubovská, I.: *Retence horních špičáků.* Odborná atestační práce z ortodontie. Olomouc 2010.
13. Dospíšilová, I.: *Léčba retinovaných špičáků a faktory ji ovlivňující.* Odborná práce ke specializační atestaci z čelistní ortopedie. Brno, 2003.
14. Ericson, S.; Kuroi, J.: Radiographic examination of ectopically erupting maxillary canines. *Amer. J. Orthodont. dentofacial Orthop.* 1987; 91(6), 483–492.
15. Adam, M.: *Ortodoncie.* Praha: SZdN; 1976.
16. Šimsa, J.: Léčba skrytých zubů. *Ces. Stomat.* 1941; 41( 4), 189–207.
17. 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), 41–48.
18. Swennen, G. R.; Schutyser, F.: Three – dimensional cephalometry: spiral multi slice vs. cone – beam computed tomography. *Amer. J. Orthodont. dentofacial Orthop.* 2006, 130, č. 3, s. 410–416.
19. Feldkamp, L. A.; Davis, L. C.; Kress, J. W.: Practical cone beam algorithm. *J. Opt. Soc. Am.* 1984, 1, č. 6, s. 612–619.
20. Kapila, S.; Conley, R. S.; Harrell Jr., W. E.: The current status of cone beam computerized tomography imaging in orthodontics. *Dentomaxillofac. Radiol.* 2011, 40, č. 1, s. 24–34.
21. SEDENTEXCT: Radiation protection: Cone beam CT for dental and maxillofacial radiology. *Evidence Based Guidelines 2011 (v2,0 final).*
22. ICRP Publication 103. The 2007 recommendations of the International Commission on radiological Protection. 2007. *Annals of the ICRP*: 37.
23. Farman, A. G.; Scarfe, W. C.: *The Basics of maxillofacial Cone Beam Computerized Tomography.* Semin. Orthodont. 2009, 15, č. 1, s. 2–13.
24. Scarfe, W. C.; Farman, A. G.; Sukovic, P.: Clinical applications of cone – beam computerized tomography in dental practice. *J. Can. Dent. Assoc.* 2006, 72, č. 1, s. 75–80.
25. Kau, C. H.; Pan, P.; Gallerano, R. L.; English, J. D.: A novel classification system for canine impactions – the KPG index. *Int. J. Med. Robot.* 2009, 5, č. 3, s. 291–296.
26. Cattaneo, P. M.; Melsen, B.: The use of cone-beam computerized tomography in an orthodontic department in between research and daily clinic. *World. J. Orthodont.* 2008, 9, č. 3, s. 269–82.

27. Kumar, V.; Ludlow, J. B.; Mol, A.; Cevidanes, L.: Comparison on conventional and cone beam CT synthesized cephalograms. *Dentomaxillofac. Radiol.* 2007, 36, č. 5, s. 263-269.
28. Dahlberg, G.: *Twin births and twins from a hereditary point of view.* Stockholm: Bokförlags -a. -b. Tidens tryckeri. 1926.
29. Dahlberg, G.: *Statistical methods for medical and biological students.* London: G. Allen and Unwin. 1948.
30. Bland, J. M.; Altman, D. G.: *Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement.* *Lancet.* 1986, 327, č. 8476, s. 307-310.
31. Bland, J. M.; Altman, D. G.: *Agreement between methods of measurement with multiple observations per individual.* *J. Biopharm. Statist.* 2007, 17, č. 4, s. 571-582.
32. Pittayapat, P.; Bomstein, M. M.; Imada T. S. N.; Coucke, W.; Lambrechts, I.; Jacobs, R.: *Accuracy of linear measurements using tree imaging modalities: two lateral cephalograms and one 3D model from CBCT data.* *Eur. J. Orthodont.* 2015, 37, č. 2, s. 202-208.
33. Gribel, B. F.; Gribel, M. N.; Frazao, D.C.; McNamara, J. A. Jr.; Manzi, F. R.: *Accuracy and reliability of craniometric measurements on lateral cephalometry and 3D measurements on CBCT scans.* *Angle Orthodont.* 2011, 81, s. 28-37.
34. Damstra, J.; Fourie, Z.; Ren, Y.: *Comparison between two-dimensional and midsagittal tree-dimensional cephalometric measurements of dry human skulls.* *British J. Oral maxillofacial Surg.* 2011, 49, 392-395.
35. van Vlijmen, O. J.; Maal, T.; Berge, S. J.; Bronkhorst, E. M.; Katsaros, C.; Kuijpers - Jagtman, A. M.: *A comparison between 2D and 3D cephalometry on CBCT scans of human skulls.* *Int. J. oral. maxillofacial Surg.* 2010, 39, s. 156-160.
36. Varghese, s.; Kailasam, V.; Padmanabhan, S.; Vikraman, B.; Chithranjan, A.: *Evaluation of the accuracy of linear measurements on spiral computed tomography - derived tree - dimensional images and its comparison with digital cephalometric radiography.* *Dentomaxillofacial Radiol.* 2010, 39, s. 216-223.
37. Olmez, H.; Gorgulu, S.; Akin, E.; Bengi, A. O.; Tekdemir, I.; Ors, F.: *Measurement accuracy of computer - assisted tree - dimensional analysis and conventional two - dimensional method.* *Angle Orthodont.* 2011, 81, s. 375-382.

**MUDr. Ivana Dubovská, Ph.D.**

Klinika zubního lékařství FNOL a UPOL  
Palackého 12, 772 00 Olomouc