

Comparative study of jaws with multislice computed tomography and cone-beam computed tomography

Studio comparativo delle arcate dentarie mediante tomografia computerizzata multidetettore e tomografia computerizzata a fascio conico

G. Carrafiello¹ • M. Dizonno¹ • V. Colli² • S. Strocchi² • S. Pozzi Taubert³ • A. Leonardi¹
A. Giorgianni¹ • M. Barresi¹ • A. Macchi³ • E. Bracchi¹ • L. Conte² • C. Fugazzola¹

¹Department of Radiology, ²Department of Medical Physics, ³Department of Stomatology, University of Insubria, Viale Borri 57, 21100 Varese, Italy

Correspondence to: M. Barresi, Tel.: +39-033-2278527, e-mail: maribarresi@libero.it

Received: 3 February 2009 / Accepted: 6 August 2009

© Springer-Verlag 2010

Abstract

Purpose. The aim of this study was to compare the dosimetric and diagnostic performance of multislice computed tomography (MSCT) and cone-beam computed tomography (CBCT) in the study of the dental arches.

Materials and methods. Effective dose and dose to the main organs of the head and neck were evaluated by means of thermoluminescent dosimeters (TLDs) placed in an Alderson Rando anthropomorphic phantom and using a standard CBCT protocol and an optimised MSCT protocol. Five patients with occlusal plane ranging from 54 cm to 59 cm who needed close follow-up (range 1–3 months) underwent both examinations. Image quality obtained with CBCT and MSCT was evaluated.

Results. Effective dose and dose to the main organs of the head and neck were higher for MSCT than for CBCT. Image quality of CBCT was judged to be equivalent to that of MSCT for visualising teeth and bone but inferior for visualising soft tissues. Beam-hardening artefacts due to dental-care material and implants were weaker at CBCT than at MSCT.

Conclusions. When panoramic radiography is not sufficient in the study of the teeth and jaw bones, CBCT can provide identical information to MSCT, with a considerable dose reduction. MSCT is, however, indicated when evaluation of soft tissue is required.

Riassunto

Obiettivo. Scopo di questo lavoro è confrontare le performances dosimetriche e diagnostiche di tomografia computerizzata multidetettore (TCMD) e tomografia computerizzata a fascio conico (TCFC) nello studio delle arcate dentarie.

Materiali e metodi. Si è provveduto alla misurazione della dose alle strutture di capo e collo e della dose efficace con dosimetri a termoluminescenza (TLD) posti in un fantoccio antropomorfo Alderson Rando utilizzando un protocollo TCFC ed uno TCMD ottimizzato. Sono stati esaminati 5 pazienti, con circonferenza al piano occlusale entro un range prestabilito (54–59 cm) e che avevano necessità di effettuare controlli ravvicinati nel tempo (range 1–3 mesi), con entrambi i sistemi TC ed è stata valutata la qualità delle immagini ottenute.

Risultati. La dose efficace agli organi è superiore per la TCMD rispetto alla TCFC. La qualità delle immagini della TCFC è stata giudicata sovrapponibile alla TCMD nello studio dei denti e dell'osso, inferiore nella valutazione dei tessuti molli. Artefatti da indurimento del fascio dovuti alla presenza di materiale medicamentoso e protesico incidono negativamente sulla qualità dell'immagine maggiormente nel caso della TCMD rispetto alla TCFC.

Conclusioni. Lo studio delle strutture ossee può essere effettuato, se la radiografia ortopantomica non è sufficiente, mediante TCFC, che fornisce informazioni sovrapponibili a quelle della TCMD con notevole

Keywords Cone-beam computed tomography · Radiation dose · Jaw · Image quality

risparmio di dose; la TCMD è indicata qualora sia necessario valutare anche i tessuti molli.

Parole chiave Tomografia computerizzata a fascio conico · Arcata dentaria · Dose di radiazione · Qualità dell'immagine

Introduction

Conventional radiology is often quite adequate for studying the maxillofacial region in that it provides sufficient information to answer clinical questions while exposing the patient to low radiation doses [1]. Multislice computed tomography (MSCT) is nonetheless considered the gold standard in odontostomatology, as it guarantees highly accurate three-dimensional imaging [2–4]. The clinical use of MSCT is, however, limited by cost, availability and radiation concerns. In recent years, cone-beam computed tomography (CBCT) equipment has been developed to minimise radiation exposure, in view of the fact that dental imaging is often performed on children or young adults [5, 6]. The aim of this study was to measure radiation dose to the main organs of the head and neck region and the effective dose delivered by 64-slice MSCT and by CBCT, by means of thermoluminescent dosimeters (TLDs) placed in an anthropomorphic phantom. Additionally, we evaluated image quality in a selected sample of patients imaged with the two CT techniques.

Materials and methods

Dose absorbed by the organs of the head and neck region and whole-body effective dose were measured using an Alderson Rando anthropomorphic phantom (Alderson Research Laboratories, Inc., New York, NY, USA). Phantom sections 0–10 (section thickness 2.5 cm) were used for the measurements. Forty TLDs (Harshaw, LiF TLD-100, rods, $1 \times 1 \times 6 \text{ mm}^3$) were inserted into slots in correspondence with the main organs; two TLDs were placed in correspondence with the eyelids to measure the dose to the crystalline lens. Dose delivered to small organs was directly estimated from the dose detected by the corresponding TLD. Dose delivered to larger organs was measured as the weighted mean of the doses detected by the corresponding TLDs [7]. Dose delivered to the red bone marrow was estimated by evaluating its distribution throughout the body, as described by the International Commission on Radiological Protection (ICRP) publication no. 70 [8]. Finally, the effective dose was calculated by considering the organs and their respective weighting

Introduzione

La radiologia convenzionale è spesso adeguata per lo studio del distretto maxillofaciale, in quanto è in grado di fornire, erogando basse dosi, informazioni sufficienti per dare risposta ai quesiti clinici [1]. Peraltro, attualmente la tomografia computerizzata multidetettore (TCMD), garantendo un imaging tridimensionale ed un'accuratezza diagnostica superiore, è considerata il gold standard in ambito odontostomatologico [2–4]. Nella pratica clinica, l'utilizzo di questa metodica è limitato dai costi, dalla disponibilità delle macchine e da motivi radioprotezionistici; negli ultimi anni sono state realizzate apparecchiature di tomografia computerizzata a fascio conico (TCFC), allo scopo di contenere quanto più possibile l'esposizione radiante, considerando che spesso i soggetti che si sottopongono a tali indagini sono bambini o giovani adulti [5, 6]. L'obiettivo di questo studio è la misurazione della dose impartita dalla TCMD a 64 strati e dalla TCFC ad alcuni siti anatomici della testa e del collo e della dose efficace mediante dosimetri a termoluminescenza (TLD) posti in un fantoccio antropomorfo; è stata inoltre valutata, in un campione selezionato di pazienti, la qualità delle immagini ottenute mediante le due tecniche di imaging TC.

Materiali e metodi

La misurazione della dose assorbita dalle diverse strutture anatomiche del capo e del collo e della dose efficace al corpo intero è stata effettuata utilizzando un fantoccio antropomorfo Alderson Rando (Alderson Research Laboratories, Inc, New York, USA). Per le misure sono state utilizzate le sezioni dalla 0 alla 10 (lo spessore di una sezione è pari a 2,5 cm). Quaranta dosimetri a termoluminescenza (Harshaw, LiF TLD-100, rods, $1 \times 1 \times 6 \text{ mm}^3$) sono stati inseriti in fori praticati nel fantoccio in corrispondenza dei principali organi; due TLD sono stati posti in corrispondenza delle palpebre per valutare la dose al cristallino. La dose agli organi di piccole dimensioni è stata stimata direttamente dalla dose ricevuta dal corrispondente TLD; la dose agli organi di dimensioni maggiori è stata valutata come media pesata delle dosi ricevute dai TLD corrispondenti [7]. La dose al midollo emopoietico è stata stimata valutando la sua distribuzione nell'intero organismo, come

factors, as suggested by ICRP publication no. 60 [9]. Relevant organs in this respect are red bone marrow, thyroid, oesophagus, and brain.

During exposure, the phantom was positioned in the manner of a normal patient with the help of medical and technical personnel. Two different CT scanners were used. The first was an i-CAT CBCT scanner for dental imaging (Xoran Technologies, Ann Arbor, MI, USA, and Imaging Science International, Hatfield, PA, USA) equipped with an amorphous silicon detector (23.8×19.2 cm; isotropic pixel 0.4 mm). The cone beam is narrowly collimated to irradiate the detector surface (width 23.8 cm and height 5–19.2 cm). For the purposes of our study, we considered the most widely used clinical protocol: the 20-s full-height scan (voltage 120 kV, tube load 23.87 mAs, 306 frames). The width of the craniocaudal scan was 13.2 cm, with coverage of anatomical structures located between the frontal sinuses anteriorly and the mandibular margin inferiorly. Dose measurements also took into account the initial scout view.

The second device was a 64-slice MSCT scanner (Aquilion 64, Toshiba, Tokyo, Japan). To select the most suitable imaging protocol, several scans of the Alderson Rando phantom were performed with varying current and pitch, starting from the standard Toshiba Dentalscan protocol [120 kV, 400 mA, rotation time 0.5 s, pitch 0.641, collimation 32 mm (0.5×64 mm)]. Scans extended from the mandibular condyles to include the entire lower jaw, with a total craniocaudal length of approximately 9 cm. Dose measurements also took into account the two scout views of the head (anteroposterior and laterolateral).

Images were obtained by performing curved multiplanar (Panorex) and parasagittal oblique reconstructions with both techniques (CBCT and MSCT) and were then analysed by two radiologists who classified quality as excellent, good, fair, sufficient and insufficient to select the protocol providing an image quality comparable with that obtained with the i-CAT 20-s full-height scan. The known i-CAT protocol and the selected MSCT protocol were used both for dosimetric studies on the anthropomorphic phantom and to evaluate image quality on patients. In addition, similar dose assessments were made for orthopantomography (OPT) performed with a Sirona Orthophos XG^{plus} DS orthopantomographic unit (Sirona, Bensheim, Germany) with the following protocol: voltage 69 kV, current 15 mA, rotation time 14.1 s. Image size was 25×13 cm.

Subsequently, five patients with a circumference at the occlusal plane within a given range (54–59 cm) and requiring close follow-up examinations (1–3 months) were examined with both CT techniques. In these patients, image quality was jointly assessed by two radiologists who analysed spongy bone, teeth (enamel, dentin, pulp

descritta nella pubblicazione International Commission on Radiological Protection (ICRP) 70 [8]. Infine, la dose efficace è stata calcolata considerando gli organi e i loro corrispondenti fattori peso come proposto dalla pubblicazione ICRP 60 [9]. A tal fine, gli organi rilevanti sono: midollo emopoietico, tiroide, esofago e cervello.

Durante le esposizioni, il fantoccio è stato posizionato in modo quanto più simile possibile ad un paziente reale, con l'ausilio di personale medico e tecnico. Sono state impiegate due diverse apparecchiature TC. La prima è una TCFC per applicazioni dentali i-CAT (Xoran Technologies, Ann Arbor, Mich., and Imaging Science International, Hatfield, USA) con rivelatore al silicio amorfo (23,8 cm×19,2 cm; pixel isotropico di 0,4 mm). Il fascio conico è collimato in modo da incidere completamente sulla superficie del rivelatore (larghezza 23,8 cm e altezza da 5 cm a 19,2 cm). Per lo studio in esame è stato considerato il protocollo di più ampio impiego clinico: full height 20 s (tensione 120 kV, carico al tubo 23,87 mA, 306 frames). L'ampiezza cranio-caudale delle scansioni è di 13,2 cm, con visualizzazione delle strutture anatomiche comprese tra i seni frontali superiormente e il margine della mandibola inferiormente. Per la valutazione della dose è stato considerato anche il contributo dello scanogramma iniziale.

La seconda apparecchiatura è una TCMD a 64 strati (Aquilion 64, Toshiba, Tokyo, Giappone). Per la scelta del protocollo d'esame sono state effettuate più scansioni del fantoccio Alderson Rando, variando corrente e pitch a partire dal protocollo Toshiba Dentalscan standard [tensione 120 kV, corrente 400 mA, tempo di rotazione 0,5 s, pitch 0,641, collimazione 32 mm (0,5×64 mm)]. Le scansioni si estendono dai condili mandibolari fino a comprendere l'intera mandibola, per una lunghezza cranio-caudale pari a circa 9 cm. Per la valutazione della dose è stato considerato anche il contributo dei due scanogrammi dell'intera testa (antero-posteriore, AP, e latero-laterale, LL).

Le immagini diagnostiche sono state ottenute effettuando ricostruzioni multiplanari curve (Panorex) e parasagittali oblique con entrambe le metodiche (TCFC e TCMD). Le immagini sono poi state sottoposte alla visione di due medici radiologi, che le hanno valutate in base alla scala di giudizio: ottimo – buono – discreto – sufficiente – insufficiente, allo scopo di selezionare il protocollo di acquisizione che consente di ottenere immagini di qualità diagnostica paragonabile a quella ottenibile con il protocollo i-CAT Full Height 20 s. Il protocollo i-CAT noto ed il protocollo TCMD prescelto in base allo studio su fantoccio sono stati utilizzati sia per gli studi dosimetrici su fantoccio antropomorfo che per la valutazione della qualità dell'immagine sui pazienti. Sono state inoltre effettuate analoghe valutazioni dosimetriche in radiografia ortopantomografica (OPT) con un ortopantomografo Sirona Orthophos XG^{plus} DS (Sirona, Bensheim, Germania), utilizzando il seguente protocollo: tensione 69

chamber), surrounding structures (periodontal space, lamina dura) and soft tissues. Comparison between CBCT and MSCT images was performed with reference to a subjective 5-point scale:

- Score 1: CBCT image markedly inferior to the MSCT image
- Score 2: CBCT image slightly inferior to the MSCT image
- Score 3: CBCT image equivalent to the MSCT image
- Score 4: CBCT image slightly superior to the MSCT image
- Score 5: CBCT image markedly superior to the MSCT image.

Results

Current and pitch values used when selecting the best MSCT protocol for the comparative dose evaluation and the clinical study are shown in Table 1. Three variations of the standard Toshiba Dentscan protocol were also used, which involve current modulation along the z axis (standard modulation and low modulation: the numbers in parentheses indicate the minimum current value). Table 1 also shows image quality assessment by the two radiologists. Image quality

Table 1 Multislice computed tomography acquisition parameters (current, pitch) and judgement of image quality for selection of the protocol to be used in the comparative studies

Current (mA)	Pitch	Image quality
400	0.641	Excellent
Standard modulation (110)	0.641	Good
Standard modulation (120)	0.828	Good
Low modulation (70)	0.641	Insufficient
300	0.828	Good
200	0.828	Fair
100	0.828	Sufficient
60	0.828	Insufficient

Tabella 1 TCMD: parametri di acquisizione (corrente, pitch) e giudizio sulla qualità delle immagini acquisite per la scelta del protocollo da utilizzare negli studi comparativi

Corrente (mA)	Pitch	Qualità diagnostica
400	0,641	Ottima
Standard Modul. (110)	0,641	Buona
Standard Modul. (120)	0,828	Buona
Low Modul. (70)	0,641	Insufficiente
300	0,828	Buona
200	0,828	Discreta
100	0,828	Sufficiente
60	0,828	Insufficiente

kV, corrente 15 mA, tempo di rotazione 14,1 s. Le dimensioni dell'immagine acquisita sono pari a 25 cm×13 cm.

Successivamente sono stati esaminati con entrambi i sistemi TC 5 pazienti, che presentavano una circonferenza al piano oclusale entro un range prestabilito (54–59 cm) e avevano la necessità di effettuare controlli ravvicinati nel tempo (range 1–3 mesi). In tali pazienti la qualità delle immagini è stata valutata congiuntamente da due radiologi. Sono stati analizzati l'osso spongioso, i denti (smalto, dentina, cavità pulpare) e le strutture circostanti (spazio periodontale, lamina dura); inoltre sono stati valutati i tessuti molli. Il confronto tra le immagini TCFC e TCMD è stato eseguito utilizzando una scala con 5 livelli di giudizio soggettivo:

- Punteggio 1: l'immagine TCFC è nettamente inferiore in qualità rispetto all'immagine TCMD.
- Punteggio 2: l'immagine TCFC è lievemente inferiore in qualità rispetto all'immagine TCMD.
- Punteggio 3: l'immagine TCFC è uguale in qualità rispetto all'immagine TCMD.
- Punteggio 4: l'immagine TCFC è lievemente superiore in qualità rispetto all'immagine TCMD.
- Punteggio 5: l'immagine TCFC è nettamente superiore in qualità rispetto all'immagine TCMD.

Risultati

I valori della corrente e del pitch utilizzati per le acquisizioni sul fantoccio mediante TCMD finalizzate a definire il protocollo da utilizzare negli studi comparativi dosimetrico e clinico sono mostrati in Tabella 1. Sono state utilizzate anche tre varianti del protocollo Toshiba Dentscan standard che prevedono la modulazione della corrente lungo l'asse z (Standard Modulation e Low Modulation: i numeri tra parentesi indicano il minimo valore che può essere assunto dalla corrente). In Tabella 1 è mostrato anche il giudizio sulla qualità diagnostica delle immagini espresso dai due medici radiologi. La qualità delle immagini acquisite con il protocollo Toshiba Dentscan standard (prima riga della Tabella 1) è stata giudicata ottima; la diminuzione della corrente e l'aumento del pitch hanno causato il peggioramento della qualità dell'immagine (Fig. 1). Per gli studi comparativi è stato ritenuto idoneo il protocollo caratterizzato dai seguenti parametri di esposizione: tensione 120 kV, corrente 200 mA, tempo di rotazione 0,5 s, pitch 0,828, collimazione 32 mm (0,5 mm×64), in quanto la qualità delle immagini (discreta) era sovrapponibile a quella delle immagini ottenute con il protocollo i-CAT Full Height 20 s (Fig. 1c).

Per quanto concerne lo studio dosimetrico comparativo sul fantoccio, la valutazione della dose assorbita dai vari organi e della dose efficace al corpo intero dovuta alle due apparecchiature in esame è riportata in Tabella 2; nella tabella sono anche indicati i valori di dose relativi

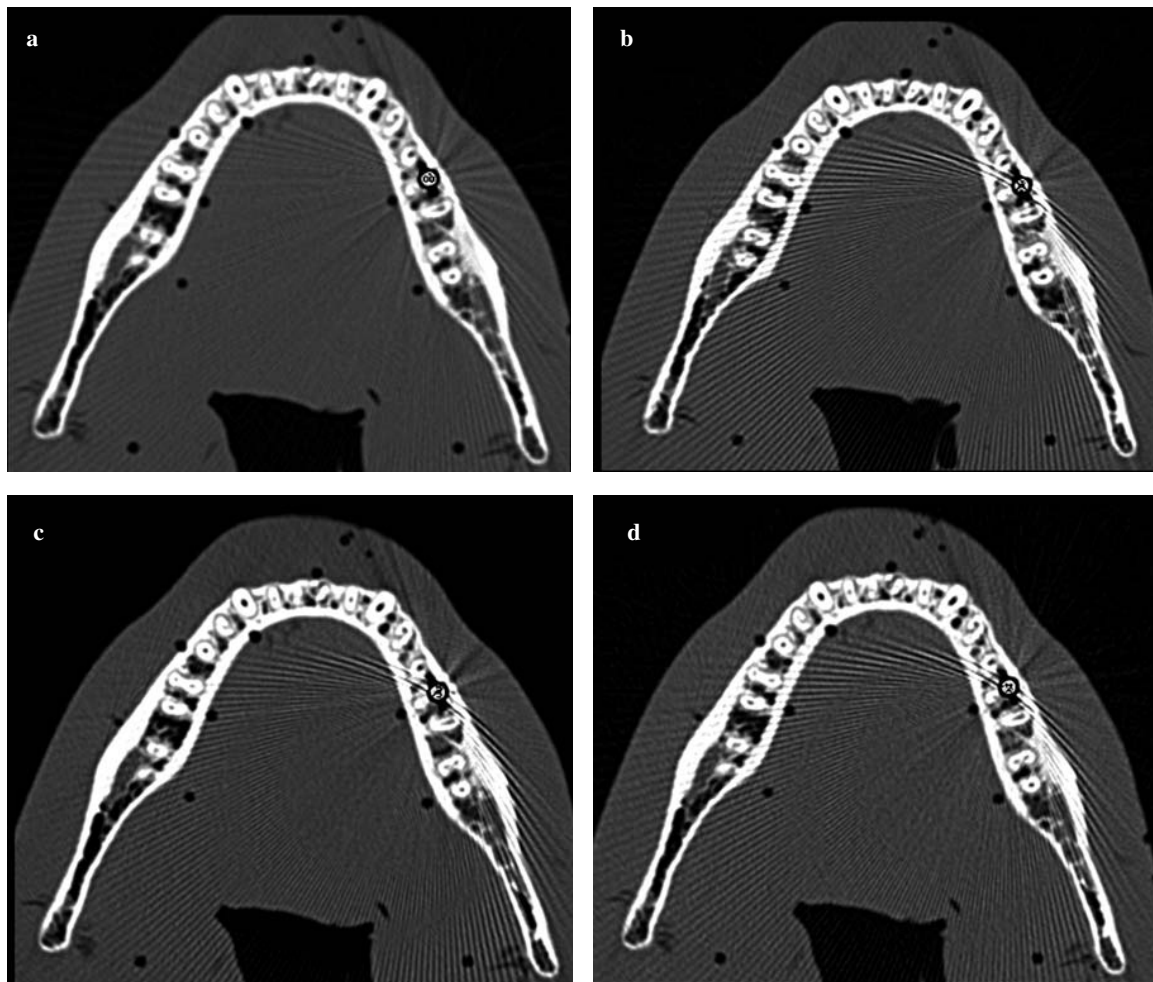


Fig. 1a-d Axial MSCT images of anthropomorphic phantom with 400-mA (a), 300-mA (b), 200-mA (c) and 100-mA (d) protocols. Image quality was judged excellent (a), good (b), fair (c) and sufficient (d).

Fig. 1a-d Scansioni assiali TCMD di fantoccio antropomorfo con protocollo 400 mA (a), 300 mA (b), 200 mA (c), 100 mA (d): la qualità delle immagini è stata giudicata ottima (a), buona (b), discreta (c) e sufficiente (d).

acquired with the standard Toshiba Dentscan protocol (first line in Table 1) was evaluated as excellent; lower current and higher pitch values produced worse image quality (Fig. 1). For comparative studies, the following exposure parameters were considered adequate: voltage 120 kV, current 200 mA, rotation time 0.5 s, pitch 0.828, collimation 32 mm (0.5×64 mm). This protocol in fact provided an image quality (fair) comparable with that obtained with the i-CAT 20-s full-height protocol (Fig. 1c).

Regarding comparative dosimetric analysis on the phantom, estimations of organ dose and whole-body effective dose are reported in Table 2, along with the dose due to OPT. MSCT with an optimised protocol delivered the highest doses in terms of both organ dose and whole-body effective dose (0.99 mSv). OPT delivered the lowest effective dose (0.05 mSv) and the lowest organ dose, with the exception of the salivary glands.

all'OPT. La TCMD con protocollo ottimizzato è la tecnica che eroga le dosi più elevate per quanto riguarda sia la dose ai vari organi che la dose efficace al corpo intero (0,99 mSv). L'OPT è la tecnica che eroga la minore dose efficace (0,05 mSv) e la minor dose agli organi esaminati, fatta eccezione per le ghiandole salivari.

Le dosi da TCFC sono sensibilmente inferiori a quelle da TCMD; rispetto all'OPT la dose efficace è circa due volte superiore (0,11 mSv); le dosi agli organi sono tutte superiori ad eccezione per l'esofago (valore di 0,01 mGy) e le ghiandole salivari (range compreso tra 1,35 e 1,78 mGy); la dose più elevata all'OPT – range compreso tra 2,01 e 2,57 mGy – è dovuta al fatto che le ghiandole salivari sono comprese nel fascio primario.

I risultati della valutazione clinica comparativa della qualità delle immagini sono riportati in Tabella 3. L'immagine TCFC è sostanzialmente sovrapponibile all'immagine

Table 2 Comparative dosimetric study on the phantom. Organ and effective doses delivered by multislice computed tomography (MSCT), cone-beam computed tomography (CBCT) and orthopantomography (OPT)

	Organ doses (mGy)		
	MSCT (optimised protocol)	CBCT	OPT
Red bone marrow	1.80	0.17	0.10
Thyroid	3.42	0.19	0.14
Oesophagus	0.22	0.01	0.01
Brain	11.76	1.54	0.69
Submandibular salivary gland	27.02	1.35	2.26
Sublingual salivary gland	26.55	1.44	2.01
Parotid gland	25.48	1.78	2.57
Teeth	21.28	1.90	0.69
Eye	13.71	2.01	0.10
Crystalline lens	12.84	1.87	0.12
Effective dose (mSv)	0.99	0.11	0.05

Tabella 2 Studio dosimetrico comparativo sul fantoccio. Dose agli organi e dose efficace impartite dai diversi sistemi (tomografia computerizzata multi-detettore, TCMD; tomografia computerizzata a fascio conico, TCFC; radiografia ortopantomica, OPT)

	Dose agli organi (mGy)		
	TCMD (protocollo ottimizzato)	TCFC	OPT
Midollo emopoietico	1,80	0,17	0,10
Tiroide	3,42	0,19	0,14
Esofago	0,22	0,01	0,01
Cervello	11,76	1,54	0,69
Ghiandole sottomandibolari	27,02	1,35	2,26
Ghiandole sottolinguali	26,55	1,44	2,01
Parotidi	25,48	1,78	2,57
Denti	21,28	1,90	0,69
Occhio	13,71	2,01	0,10
Cristallino	12,84	1,87	0,12
Dose efficace (mSv)	0,99	0,11	0,05

CBCT delivered markedly lower doses than did MSCT; compared with OPT, the effective dose was approximately twice as high (0.11 mSv); organ doses were all higher, with the exception of the oesophagus (0.01 mGy) and salivary glands (ranging from 1.35 to 1.78 mGy); the higher dose delivered by OPT – ranging from 2.01 to 2.57 mGy – is due to the fact that the salivary glands are included in the primary beam.

Results of the comparative clinical evaluation of image quality are shown in Table 3. CBCT images were virtually comparable with MSCT images in assessing the enamel (mean score 3.2), dentin (mean score 3), pulp chamber (mean score 2.8), lamina dura (mean score 3), periodontal space (mean score 3.2) and spongy bone (mean score 2.8) (Figs. 2 and 3a,b). With regard to soft tissues, CBCT produced lower-quality images compared with MSCT (mean score 1.4) (Fig. 3c,d). It should be noted that MSCT images were more heavily affected by beam-hardening arte-

TCMD nella valutazione dello smalto (punteggio medio 3,2), della dentina (punteggio medio 3), della camera pulpare (punteggio medio 2,8), della lamina dura (punteggio medio 3), dello spazio periodontale (punteggio medio 3,2), dell'osso spongioso (punteggio medio 2,8) (Figg. 2 e 3a,b). Per quanto concerne i tessuti molli, la TCFC ha prodotto immagini di qualità inferiore alla TCMD (punteggio medio 1,4) (Fig. 3c,d). Va altresì sottolineato che gli artefatti da indurimento del fascio, dovuti alla presenza di materiale medicamentoso e protesico a livello dentale, hanno inciso negativamente sulla qualità dell'immagine in misura maggiore nel caso della TCMD rispetto alla TCFC (Fig. 4).

Discussione

Delle tre differenti tecniche di imaging confrontate nello studio su fantoccio della regione maxillofaciale, l'OPT è

Table 3 Comparative clinical study of image quality (multislice computed tomography, cone-beam computed tomography)

	Patient 1	Patient 2	Patient 3	Patient 4	Patient 5	Average
Enamel	4	3	4	3	2	3.2
Dentin	4	3	3	2	3	3
Pulp chamber	3	3	3	2	3	2.8
Lamina dura	3	4	3	2	3	3
Periodontal space	4	3	3	3	3	3.2
Cancellous bone	3	2	3	3	3	2.8
Soft tissues	2	1	1	2	1	1.4

Tabella 3 Studio clinico comparativo della qualità delle immagini (TCMD; TCFC)

	Paziente 1	Paziente 2	Paziente 3	Paziente 4	Paziente 5	Media
Smalto	4	3	4	3	2	3,2
Dentina	4	3	3	2	3	3
Cavità pulpare	3	3	3	2	3	2,8
Lamina dura	3	4	3	2	3	3
Spazio periodontale	4	3	3	3	3	3,2
Ossso spongioso	3	2	3	3	3	2,8
Tessuti molli	2	1	1	2	1	1,4

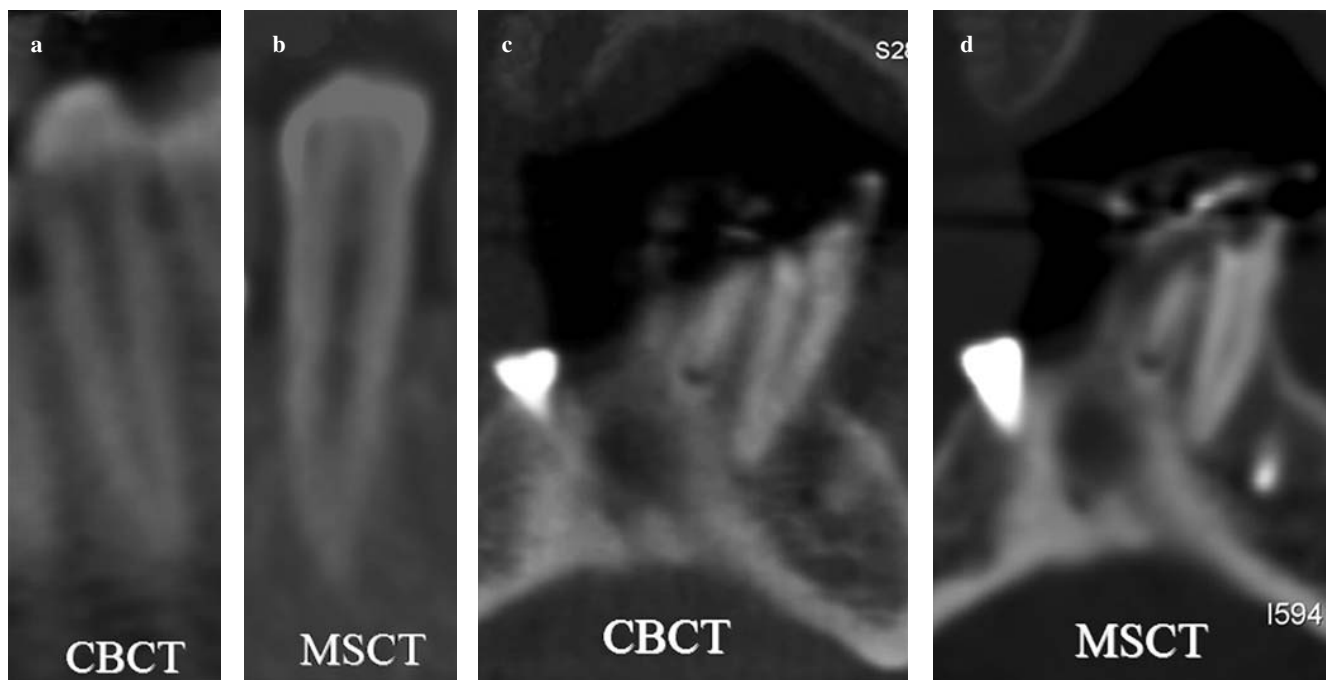


Fig 2a-d Comparative images of patients studied with CBCT and MSCT with optimised protocol: teeth (**a,b**), surrounding structures (**c,d**). CBCT (**a**) and MSCT (**b**) images of enamel, dentin and pulp chamber have similar diagnostic quality; CBCT (**c**) and MSCT (**d**) images of the periodontal space and lamina dura have similar quality.

Fig. 2a-d Immagini comparative di pazienti studiati con TCFC e TCMD con protocollo ottimizzato: elemento dentale (**a,b**), strutture circostanti (**c,d**). Le immagini delle componenti dentarie (smalto, dentina, camera pulpare) sono sovrapponibili in TCFC (**a**) e in TCMD (**b**); le immagini del legamento periodontale e della lamina dura sono sovrapponibili in TCFC (**c**) e TCMD (**d**).

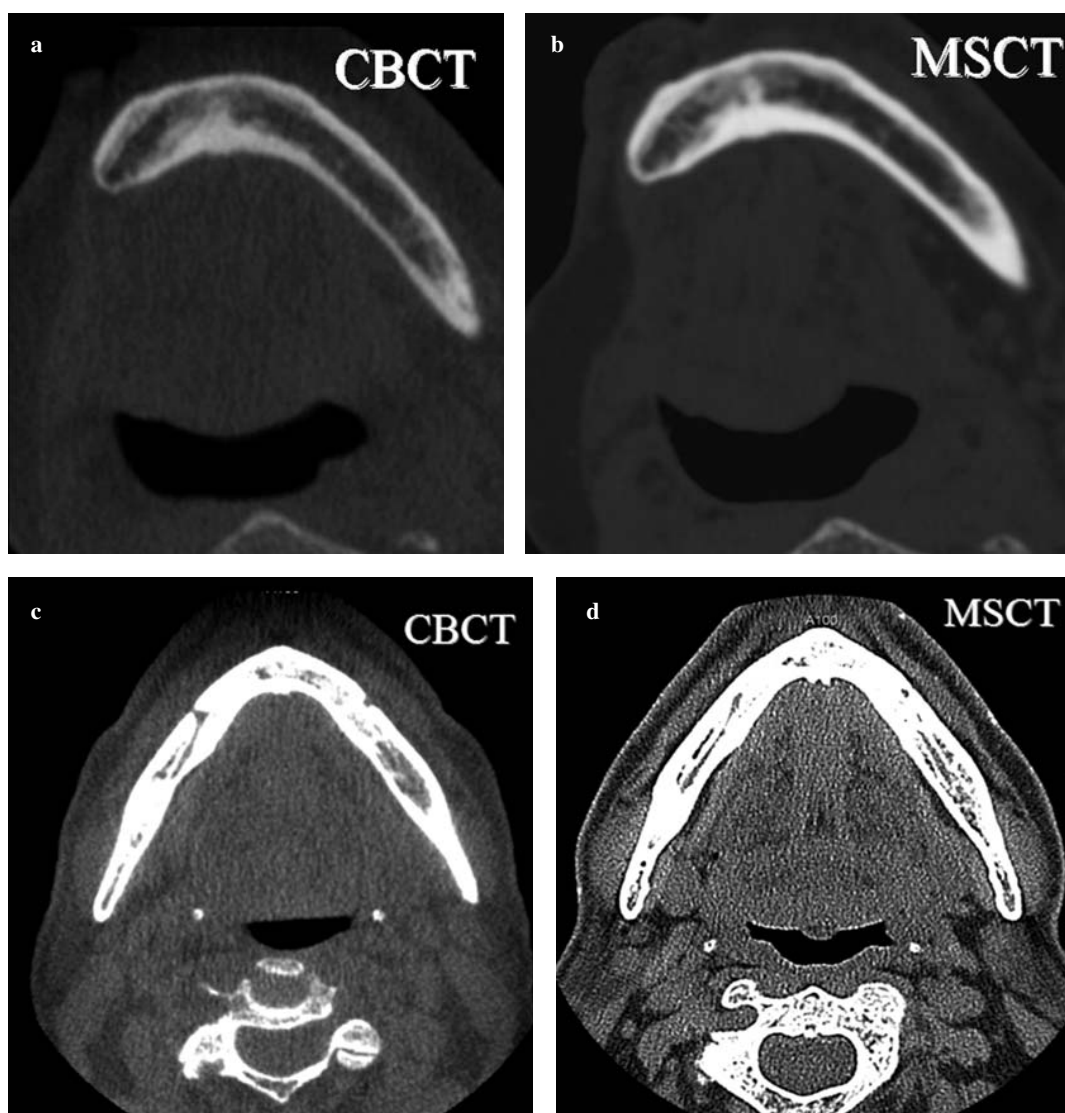


Fig. 3a-d Comparative images of patients studied with CBCT and MSCT with optimised protocol: cancellous bone (a,b) and soft tissues (c,d). CBCT (a) and MSCT (b) images of cancellous bone have similar diagnostic quality, whereas CBCT (c) provides inferior visualisation of soft tissue compared with MSCT (d).

Fig. 3a-d Immagini comparative di pazienti studiati con TCFC e TCMD con protocollo ottimizzato: osso spugnoso (a,b) e dei tessuti molli (c,d). L'immagine dell'osso spugnoso è sovrapponibile in TCFC (a) e in TCMD (b); quella delle parti molli è inferiore in TCFC (c) rispetto a quella ottenuta in TCMD (d).

facts due to dental-care materials and implants compared with CBCT images (Fig. 4).

Discussion

Among the three imaging techniques compared in our phantom study of the maxillofacial region, OPT delivers the lowest effective dose and a modest organ dose [1, 10, 11]. However, OPT gives a two-dimensional rendering of three-dimensional anatomical structures and hence may not be adequate for diagnosis in clinical situations that are

quella che impartisce la più bassa dose efficace; anche i valori di dose agli organi sono modesti [1, 10, 11]. Tuttavia l'OPT, fornendo una rappresentazione bidimensionale di strutture anatomiche tridimensionali, può non essere sufficiente ai fini diagnostici in talune evenienze cliniche che traggono vantaggio dall'impiego delle tecniche di TC [2-4]. Le dosi erogate dalle apparecchiature TC, sia spirale che a multiple file di detettori [12-14], sono più elevate per quanto concerne sia la dose efficace al corpo intero, sia le dosi ai singoli organi; in particolare, sono elevate anche le dosi a organi, come gli occhi e in particolare il cristallino, che non giacciono entro il fascio primario

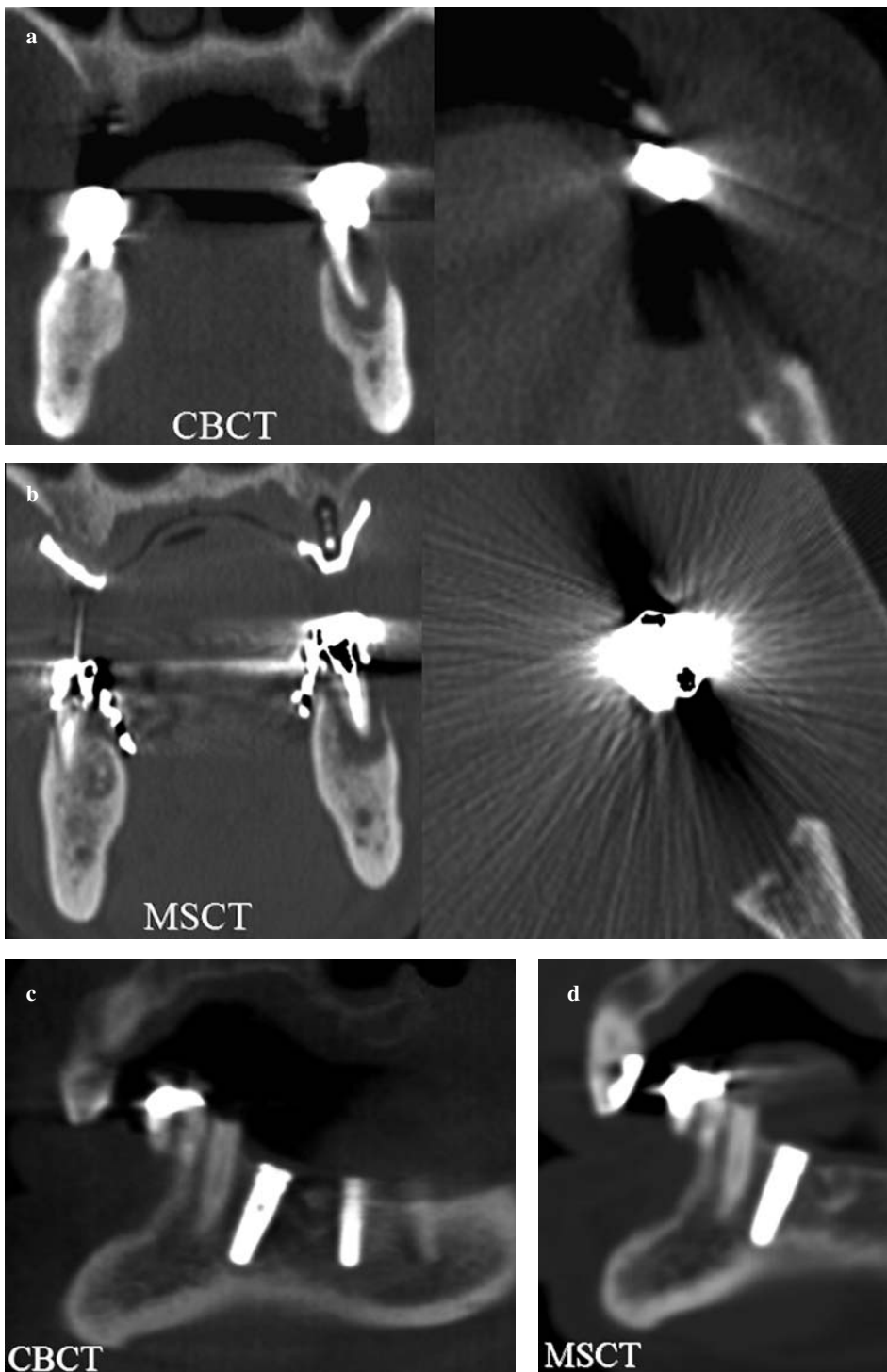


Fig. 4a-d Comparative images of patients studied with CBCT and MSCT with optimised protocol: artefacts due to dental-care materials (coronal and axial images, **a,b**) and dental implants (cross-sectional images, **c,d**). Weaker artefacts occurred at CBCT (**a, c**) than at MSCT (**b,d**).

Fig. 4a-d Immagini comparative di pazienti studiati con TCFC e TCMD con protocollo ottimizzato: artefatti da indurimento del fascio dovuti a materiale medicamentoso (immagini coronali e assiali, **a,b**) e protesico (immagini parasagittali, **c,d**). Gli artefatti sono più evidenti in TCMD (**a,c**) che in TCFC (**b,d**).

more likely to benefit from CT techniques [2–4]. Spiral or multidetector CT doses [12–14] are higher in terms of whole-body effective dose and organ dose; in particular, high doses are delivered to the eyes and especially the crystalline lens, neither of which lies within the primary beam and the irradiation of which is due to scattered radiation only.

e la cui irradiazione è dovuta alla sola radiazione diffusa.

Uno degli obiettivi di questo studio è la misurazione della dose impartita dalla TCMD a 64 strati e dalla TCFC ad alcuni siti anatomici della testa e del collo e della dose efficace mediante TLD posti in un fantoccio antropomorfo. Dovendo confrontare due apparecchiature diverse fra loro si può scegliere di lavorare a parità di dose e valutare le

One of the aims of this study was to measure the dose to organs and tissues of the head and neck region and the effective dose delivered by 64-slice MSCT and CBCT by using TLDs placed in an anthropomorphic phantom. Because the comparison involved two different types of equipment, we could choose either to work with identical doses and evaluate differences in image quality or work with identical image quality and evaluate differences in the dose delivered. Given that it was impossible to reduce the doses delivered by the Toshiba CT scanner to the level of those delivered by the i-CAT CT, we chose for the second option.

Published protocols for reducing absorbed dose are characterised by decreased current and increased pitch [15] or, less frequently, reduced voltage [16]. Our study used an optimised protocol involving reduced current (from 400 to 200 mA) and increased pitch (from 0.641 to 0.828), which enabled a marked reduction in effective dose (from 2.37 to 0.99 mSv) without causing any reduction in image quality or significant information loss.

CBCT doses are markedly lower than those delivered by MSCT scanners, and this is justified by technical features of CBCT scanners (cone-beam geometry, low current values and detector properties). Our findings (effective dose 0.11 mSv) are confirmed by other studies on phantoms reported in the literature [12–14, 17, 18]. On the other hand, the effective dose delivered by CBCT is higher than that delivered by OPT, whereas the dose to the salivary glands, which lie within the primary beam at OPT, is lower for CBCT [12]. Moreover, compared with OPT, the difference between doses to the different organs is less marked with CBCT as a result of the larger spatial extension of the cone beam and the large amounts of scattered radiation generated by objects lying within its range.

In addition, our study included a comparison of image quality obtained with the two CT techniques, as suggested by previous authors [19–23]. Hashimoto et al. judged the performance of CBCT to be higher than that of MSCT both in an anthropomorphic phantom [19] and in dried maxillary bone [20]. Loubele et al. [21], in a study conducted on an anthropomorphic phantom, dry mandibles and actual patients, obtained better visualisation of the lamina dura and periodontal space with CBCT and of the gingiva and cortical bone with MSCT. Heiland et al. [22] compared CBCT, MSCT and magnetic resonance imaging for studying the cervical region in eight cadavers. CBCT images provided inferior quality regarding visualisation of soft tissues, whereas there was no significant difference regarding bone structures (vertebral bodies) and cartilages (larynx). In our study, CBCT images were judged to be equivalent to MSCT images for studying teeth, lamina dura, periodontal space

differenze in termini di qualità diagnostica delle immagini, oppure lavorare a parità di qualità diagnostica e valutare le differenze in termini di dose; essendo impossibile ridurre le dosi impartite dall'apparecchiatura TC Toshiba al livello delle dosi della TC iCAT, si è scelta la seconda possibilità.

In letteratura, i protocolli utilizzati al fine di ridurre la dose assorbita sono caratterizzati dalla riduzione della corrente con incremento del pitch [15] o, meno frequentemente, dalla riduzione della tensione [16]: anche in questo studio è stato scelto un protocollo ottimizzato caratterizzato da riduzione della corrente (da 400 a 200 mA) con aumento del pitch (da 0,641 a 0,828), che ha permesso una notevole riduzione della dose efficace (da 2,37 a 0,99 mSv) senza peraltro una riduzione di qualità delle immagini che potesse comportare una significativa perdita di informazione.

Le dosi erogate dalla TCFC sono molto inferiori a quelle dei sistemi TCMD, in quanto tali apparecchiature presentano peculiarità tecniche (rappresentate dalla geometria del fascio conico, dai bassi valori di corrente e dalle proprietà del rivelatore) che giustificano tali risultati; i nostri dati (dose efficace 0,11 mSv) trovano conferma nelle esperienze riportate in letteratura riguardanti i fantocci antropomorfi [12–14, 17, 18]. La dose efficace impartita dal sistema TCFC è peraltro più alta di quella dovuta alla OPT; comunque la dose alle ghiandole salivari, che in OPT giacciono entro il fascio primario, risulta inferiore in TCFC [12]. Inoltre, rispetto all'OPT, nel caso della TCFC la differenza fra le dosi ai vari organi è meno marcata, a causa della maggiore estensione spaziale del fascio conico e della elevata percentuale di radiazione diffusa dagli oggetti che si trovano entro esso.

Il nostro studio ha previsto inoltre un confronto della qualità delle immagini ottenute con i due sistemi TC, come proposto in passato da altri autori [19–23]. Hashimoto et al. hanno giudicato le performance della TCFC superiori a quelle della TCMD sia su fantoccio antropomorfo [19] che su osso mascellare secco [20]. Loubele et al. [21], prendendo in esame fantoccio antropomorfo, osso mascellare secco e pazienti, hanno ottenuto immagini di qualità superiore mediante TCFC su lamina dura e spazio periodontale e mediante TCMD su gengiva e corticale ossea. Heiland et al. [22] hanno effettuato uno studio sulla regione cervicale di 8 cadaveri e comparato TCFC, TCMD e risonanza magnetica (RM); le immagini ottenute con TCFC si sono rivelate di qualità inferiore per quanto riguarda la strutture molli, senza differenze significative per quanto concerne le strutture ossee (corpi vertebrali) e cartilaginee (laringe). Nel nostro studio l'immagine TCFC è stata giudicata sovrapponibile all'immagine TCMD nella valutazione dei denti, della lamina dura, dello spazio periodontale e dell'osso spongioso; viceversa la qualità dell'immagine dei tessuti molli è risultata inferiore, in quanto la notevole quota di radiazione diffusa – che incide in modo casuale sul rivelatore del dispositivo TCFC – e la bassa corrente hanno come conseguenza una diminuzione del

and spongy bone. In contrast, visualisation of soft tissues was worse due to the large amount of scattered radiation – which hits the CBCT detector randomly – and the low current produce a lower contrast. It should also be noted that, unlike Draenert et al. [23], we found the beam-hardening artefacts (due the dental-care materials and implants) to be less disturbing with CBCT than with MSCT [24].

Conclusions

In conclusion, CBCT supplies essentially identical information as that of MSCT regarding teeth, surrounding structures and spongy bone, but it has the advantage of ensuring markedly lower effective and organ doses. In addition, MSCT image quality is negatively affected by artefacts due to dental-care materials and implants. Consequently, in several odontostomatologic diseases, the use of MSCT is not necessary, even though this technique remains superior for evaluating soft tissues.

contrasto. Va altresì sottolineato che nella nostra esperienza, a differenza di quanto riportato da Draenert et al. [23], gli artefatti da indurimento del fascio (dovuti alla presenza di materiale medicamentoso e protesico) sono risultati meno “disturbanti” in TCFC rispetto alla TCMD [24].

Conclusioni

In conclusione, il contenuto informativo delle immagini ottenute con TCFC è sostanzialmente sovrapponibile – per quanto concerne denti, strutture circostanti e osso spongioso – a quello delle immagini fornite dalla TCMD, con il vantaggio di garantire una dose efficace ed ai singoli organi notevolmente inferiore; inoltre gli artefatti causati dalla presenza di materiale medicamentoso e protesico a livello dentale degradano maggiormente la qualità delle immagini ottenute con TCMD. In varie evenienze di patologia odontostomatologica non è pertanto necessario il ricorso alla TCMD, che è comunque superiore nella valutazione dei tessuti molli.

Conflict of interest statement The authors declare that they have no conflict of interest to the publication of this article.

References/Bibliografia

- Bianchi SD, Rocuzzo M, Albrito F et al (1996) Dosi assorbite nella radiologia dentale. *Radiol Med* 92:114–121
- Preda L, Rodriguez y Baena R, La Fianza A et al (1999) Computed tomography in dental implantation. Technical and methodological aspects. *Radiol Med* 98:447–453
- Ludlow JB, Laster WS, See M et al (2007) Accuracy of measurements of mandibular anatomy in cone beam computed tomography images. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 103:534–542
- Scribano E, Ascenti G, Mazziotti S et al (2003) Computed tomography in dental implantology: medico-legal implications. *Radiol Med* 105:92–99
- Mozzo P, Procacci C, Tacconi A et al (1998) A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol* 8:1558–1564
- Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P (2006) Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc* 72:75–80
- Vile C, Mangini M, Stocchi S et al (2006) Dosimetric and image quality assessment of different acquisition protocols of a novel 64 slices CT scanner. *Progress in biomedical optics and imaging* 7:61423G.1–61423G.7
- International Commission on Radiological Protection (1996) Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: the skeleton. ICRP Publication n. 70, Pergamon Oxford
- International Commission on Radiological Protection (1990) Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication n. 60, Pergamon Oxford
- Villari N, Stecco A, Zatelli G (1999) Dosimetry in dental radiology: comparison of spiral computerized tomography and orthopantomography. *Radiol Med* 97:378–381
- Doyle P, Martin CJ, Robertson J (2006) Techniques for measurement of dose width product in panoramic dental radiography. *Br J Radiol* 79:142–147
- Schulze D, Heiland M, Thurmann H, Adam G (2004) Radiation exposure during midfacial imaging using 4- and 16-slice computed tomography, cone beam computed tomography and conventional radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 33:83–86
- Lecomber AR, Yoneyama Y, Lovelock DJ et al (2001) Comparison of patient dose from imaging protocols for dental implant planning using conventional radiography and computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 30:255–259
- Mah JK, Danforth RA, Bumann A et al (2003) Radiation absorbed in maxillofacial imaging with a new dental computed tomography device. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 96:508–513
- Cohnen M, Kemper J, Mobes O et al (2002) Radiation dose in dental radiology. *Eur Radiol* 12:634–637
- Fanucci E, Leporace M, Di Costanzo G et al (2006) Multidetector CT and dentascanner software: dosimetric evaluation and technique improvement. *Radiol Med* 111:130–138

17. Tsiklakis K, Donta C, Gavala S et al (2005) Dose reduction in maxillofacial imaging using low dose Cone Beam CT. *Eur J Radiol* 56:413–417
18. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL et al (2006) Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Mercuray, NewTom 3G and i-Cat. *Dentomaxillofac Radiol* 35:219–226
19. Hashimoto K, Arai Y, Iwai K et al (2003) A comparison of a new limited cone beam computed tomography machine for dental use with multidetector row helical CT machine. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 95:371–377
20. Hashimoto K, Kawashima S, Araki M et al (2006) Comparison of image performance between cone-beam computed tomography for dental use and four-row multidetector helical CT. *J Oral Sci* 48:27–34
21. Loubele M, Guerrero ME, Jacobs R et al (2007) A comparison of jaw dimensional and quality assessments of bone characteristics with cone-beam CT, spiral tomography, and multi-slice spiral CT. *Int J Oral Maxillofac Implants* 22:446–454
22. Heiland M, Pohlenz P, Blessmann M et al (2007) Cervical soft tissue imaging using a mobile CBCT scanner with a flat panel detector in comparison with corresponding CT and MRI data sets. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 104:814–820
23. Draenert FG, Copenrath E, Herzog P et al (2007) Beam hardening artefacts occur in dental implant scans with the NewTom cone beam CT but not with the dental 4-row multidetector CT. *Dentomaxillofac Radiol* 36:198–203
24. Strocchi S, Colli V, Novario R et al (2007) Dedicated dental volumetric and total body multislice computed tomography: a comparison of image quality and radiation dose. *Progress in biomedical optics and imaging* 8:65102I.1–65102I.8