



UNICAMP

SAULO LEONARDO SOUSA MELO

“Influência da segmentação e reconstrução de imagem
na capacidade de diagnóstico da Tomografia
Computadorizada de Feixe Cônico utilizando *softwares*
com plataforma DICOM”

Piracicaba
2013



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA

SAULO LEONARDO SOUSA MELO

“Influência da segmentação e reconstrução de imagem na capacidade de diagnóstico da Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico utilizando *softwares* com plataforma DICOM”

Orientador: Prof. Dr. Francisco Haiter Neto

Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Odontologia de Piracicaba da UNICAMP para a obtenção do título de doutor em Radiologia Odontológica, área de concentração Radiologia Odontológica.

Este exemplar corresponde à versão final da tese defendida pelo aluno, e orientada pelo Prof. Dr. Francisco Haiter Neto

Assinatura do Orientador

Piracicaba
2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR
JOSIDELMA F COSTA DE SOUZA – CRB8/5894 - BIBLIOTECA DA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA DA UNICAMP

M491i	<p>Melo, Saulo Leonardo Sousa, 1982- Influência da segmentação e reconstrução de imagem na capacidade de diagnóstico da Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico utilizando softwares com plataforma DICOM / Saulo Leonardo Sousa Melo. -- Piracicaba, SP : [s.n.], 2013.</p> <p>Orientador: Francisco Haiter Neto.</p> <p>Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.</p> <p>1. Processamento de Imagem Assistida por Computador. 2. Fraturas dos dentes. 3. Diagnóstico por imagem. I. Haiter Neto, Francisco, 1964- II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. III. Título.</p>
-------	--

Informações para a Biblioteca Digital

Título em Inglês: Influência da segmentação e reconstrução de imagem na capacidade de diagnóstico da Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico utilizando softwares com plataforma DICOM

Palavras-chave em Inglês:

Image processing computer-assisted

Tooth fractures

Diagnostic imaging

Área de concentração: Radiologia Odontológica

Titulação: Doutor em Radiologia Odontológica

Banca examinadora:

Francisco Haiter Neto [Orientador]

Márcio Correa

Christiano de Oliveira Santos

Rívea Inês Ferreira Santos

Luis Roberto Marcondes Martins

Data da defesa: 18-01-2013

Programa de Pós-Graduação: Radiologia Odontológica



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Odontologia de Piracicaba



A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Tese de Doutorado, em sessão pública realizada em 18 de Janeiro de 2013, considerou o candidato SAULO LEONARDO SOUSA MELO aprovado.

Prof. Dr. FRANCISCO HAITER NETO

Prof. Dr. MÁRCIO CORRÊA

Prof. Dr. CHRISTIANO DE OLIVEIRA SANTOS

Profa. Dra. RIVEA INÊS FERREIRA

Prof. Dr. LUIS ROBERTO MARCONDES MARTINS

Agradecimentos Institucionais

À Universidade Estadual de Campinas,
na pessoa do Prof. Dr. Fernando Ferreira Costa (Reitor).

À Faculdade de Odontologia de Piracicaba,
na pessoa do Prof. Dr. Jacks Jorge Júnior (Diretor).

À University of Louisville, School of Dentistry,
na pessoa do Prof John J. Sauk (Dean), pelo suporte técnico enquanto pesquisador
visitante.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES,
pela concessão das bolsas DS (Demanda Social) e PDSE (Programa de Doutorado
Sanduíche no Exterior).

Agradecimentos

Ao Prof Francisco Haiter Neto,

Obrigado pela orientação precisa e eficaz, não apenas na elaboração deste trabalho de tese, como também na construção de uma carreira como professor e pesquisador. Ser orientado por um ídolo foi sensacional, pois cada conversa era um aprendizado.

Ao Prof Allan Farman,

Obrigado pela orientação além-fronteira, pela generosidade na transmissão dos conhecimentos, pela disponibilidade constante e, principalmente, por ter me dado a oportunidade de realizar alguns sonhos.

Aos Profs Márcio Correa, Christiano de Oliveira Santos, Rívea Inês Ferreira Santos, Luis Roberto Marcondes Martins, Deborah Queiroz de Freitas França, Brenda Paula Figueiredo de Almeida Gomes, José Flávio Affonso de Almeida, Maria de Fátima Batista de Melo e Daniela Pita de Melo,

Agradeço à disponibilidade em avaliar e contribuir para o aprimoramento deste trabalho nos exames de qualificação e defesa de tese.

Aos Profs Frab Norberto Bóscolo, Solange Maria de Almeida, Deborah Queiroz de Freitas França, Gláucia Maria Bovi Ambrosano, e demais professores do Programa de Pós-graduação em Radiologia Odontológica

Obrigado pela dedicação e conhecimentos generosamente transmitidos.

Ao Prof William Scarfe,

O qual tive o privilégio de conhecer e conviver diariamente por um ano. Sem dúvida, o ano que mais aprendi na vida!

À secretária Luciane Sattolo, e aos técnicos e funcionários da clínica de Radiologia Odontológica da FOP, Waldeck Moreira, Fernando Andrade e Giselda Gonçalves,

Obrigado pela dedicação e paciência em auxiliar e atender a todos os alunos.

Aos funcionários da clínica de Radiologia Odontológica da University of Louisville, Barbara, Susan Grammer, Lisa Wade, Lucinda Perry e Elaine Luckett,

Obrigado pela paciência, prestatividade e imprescindível ajuda no meu aprimoramento da língua inglesa.

Às técnicas do laboratório de Morfologia e Histologia, Maria Aparecida Varela e Eliene Narvaes, e aos funcionários do Biotério da FOP.

À Profa Maria de Fátima Batista de Melo,

Muito obrigado pela presença constante no meu crescimento profissional e pessoal.

Aos Profs Márcio Correa, Paulo Sérgio Flores Campos e Iêda Crusóé Rocha
Rebello,

Agradeço a amizade, a confiança e por continuarem sendo eternas fontes de inspiração.

Aos Profs da University of Louisville, Gustavo Oliveira e Greice Oliveira,

Muito obrigado pela receptividade, ajuda, carinho e amizade! Levarei vocês comigo para sempre.

Aos Profs do Programa de Pós-graduação em Odontologia da Universidade Federal de Santa Catarina; da Especialização em Radiologia da Universidade Federal da Bahia; e do curso de graduação em Odontologia da Universidade Federal de Sergipe.

À Lucy Melo e aos funcionários do Centro de Imagem em Odontologia de Sergipe,
que sempre torceram e acompanharam meu aprendizado.

À Anne Caroline Costa Oenning,
Irmã, amiga, conselheira, defensora e companheira de todas as horas e fundamental em
todos os momentos.

À Daniela Pita de Melo,
de professora à uma grande amiga, e a quem serei eternamente grato.

À Manuella Belém, Gabriella Rezende, Karla Vasconcelos, Carolina Cintra, Karla
Rovaris, Sérgio Lins, Luciana Aguiar, Débora Távora, Monikelly Nascimento,
Phillipe Alencar, Taruska Ventorini, Yuri Nejaim e Maria Augusta Visconti,

Obrigado por tornar a vida em Piracicaba mais fácil. Agradeço por todos os momentos
compartilhados, onde cada um, ao seu jeito, contribuiu para a conclusão dessa minha
trajetória.

À Amanda Araujo, Amaro Vespasiano, Ana Caroline, Bruno Gribel, Carla Klamt,
Daniela Brait, Débora Moreira, Frederico Sampaio, Gina Roque, Helena Aguiar,
Isabela Crusoé, Laura Sotelo, Letícia Lealdine, Liana Ferreira, Marco Frazão,
Maria Beatriz Alonso, Matheus Oliveira, Paulo De Tarso, Rafaela Argento, Saione
Sá, Thiago Gamba.

Obrigado pelo convívio e aprendizado diário.

Aos professores e colegas de Pós-graduação de outras áreas, em especial, Prof Alan
Roger, Lucinha Prieto, Manoela Carrera, Marianne Carvalho e Camilla Borges.

Aos colegas de doutorado sanduíche, Zhimi Li, Kivanc Kamburoglu e Wael Safwat.

Aos grandes amigos conquistados no Kentucky, Nathan Malyszek, Maryke Strydom, Richard Kornrumpf, Alex Costa, Micah Morris, Rachel Morris, Lucas Bueno, Roz Bradfield, Sara Mancero, David Jaar, Richard Osterloh, Will Mack, Pia Tonsmann, Justin Smith, Paula Soder e Gonzalo Garcia,

Muito obrigado por fazerem parte do melhor ano de minha vida!

Aos amigos Ana Thaís, Igor Gois, Patrícia Mota, Amanda Caroline, Karina Silva, Celso Ferrari, Tomás Ferrari, Ricardo Bessa, Vanessa Thiesen, Daieni Varela, Andréa Goetchi e Karine Baldow,

Apesar da distância e do contato, muitas vezes, esporádico, tenham certeza que nada mudou!

Aos tios Raquel, Francisco, Vera, Antônio Hermes, Aparecida (*in memoriam*) e Valmir,

Obrigado pelo incentivo constante e pela torcida.

Por fim, e mais importante, agradeço o apoio incondicional dos melhores pais do mundo, Izabel e Etevaldo, e da melhor irmã que alguém pode ter na vida, Laís.

Amo vocês!

Acknowledgments

To the University of Louisville, School of Dentistry,

By Prof John J. Sauk (Dean), for the technical support while I was a visiting postgraduate fellow.

To Professor Allan Farman,

Thank you for have accepted me as an exchange student, the generosity to share all your precious knowledge, the constant availability, and especially for giving me the opportunity to realize many of my dreams.

To Professor William Scarfe,

Whom I had the privilege to meet and learn from every day for a year. You are one of the greatest examples I have on the academic field!

To the colleagues of the visiting postgraduate program, Zhimi Li, Kivanc Kamburoglu and Wael Safwat.

To the UofL Dental Radiology staff, Barbara, Susan Grammer, Lisa Wade, Lucinda Perry and Elaine Luckett,

Thanks for your patience, helpfulness and indispensable help in improving my English.

To the greatest friends I could ever ask for, given to me by Kentucky, Nathan Malyszek, Maryke Strydom, Richard Kornrumpf, Alex Costa, Micah Morris, Rachel Morris, Lucas Bueno, Roz Bradfield, Sara Mancero, David Jaar, Richard Osterloh, Will Mack, Pia Tonsmann, Justin Smith, Paula Soder and Gonzalo Garcia,

Thank you all for being part of the best year of my life!

Nothing happens by chance, my friend... No such thing as luck. A meaning behind every little thing, and such a meaning behind this. Part for you, part for me, may not see it all real clear right now, but we will, before long.

Nada acontece por acaso. Não existe a sorte. Há um significado por detrás de cada pequeno ato. Talvez não possa ser visto com clareza imediatamente, mas sê-lo-á antes que se passe muito tempo.

Richard Bach

RESUMO

As fraturas radiculares apresentam diagnóstico clínico limitado visto que os sinais e sintomas apresentados pelo paciente são inespecíficos. Como a maioria das fraturas leva à extração do dente, torna-se necessário um diagnóstico mais preciso. A tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) é considerada um método de diagnóstico avançado na aquisição de imagens livres de sobreposições das estruturas orofaciais. Geralmente as imagens por TCFC são segmentadas e reconstruídas em DICOM, visto que existe uma grande disponibilidade de *softwares* que utilizam este formato. Por se tratar de uma tecnologia relativamente recente, e que rapidamente vem se difundindo no meio odontológico, o presente estudo avaliou a influência do uso de *softwares* com plataforma DICOM na capacidade de diagnóstico das imagens por TCFC na detecção de fraturas radiculares verticais induzidas experimentalmente. Foram utilizados cento e noventa dentes unirradiculares humanos, com os condutos radiculares modelados, divididos em 3 grupos, de acordo com a condição do canal radicular: não-preenchido (NP); preenchido com guta-percha (GP); e parcialmente preenchido por núcleo metálico fundido (NM). Metade dos elementos de cada grupo foi fraturada artificialmente, com posterior reposicionamento dos fragmentos. Um cone de guta-percha bem adaptado foi inserido no canal dos dentes do grupo GP e núcleos metálicos fundidos foram confeccionados nos dentes do grupo NM. Todos os dentes foram posicionados em um crânio seco humano e escaneados em um aparelho de TCFC, conforme o protocolo de escaneamento da maxila utilizando *voxel* de 0.2 mm. As imagens foram salvas no formato original (.xstd), assim como segmentadas e reconstruídas em DICOM. As imagens originais foram analisadas no *software* do tomógrafo (Xoran) e as imagens DICOM nos *softwares* Dolphin, InVivo e KDIS3D. Foram selecionados três cirurgiões-dentistas radiologistas para avaliar as imagens quanto à ausência ou presença de fratura radicular, em uma escala de 5 pontos. Sensibilidade, especificidade, acurácia e área sob a curva ROC foram calculadas. A influência do material intracanal e do

software utilizado foi verificada por meio do modelo de análise de variância (ANOVA) e comparações pareadas realizadas por meio do teste de *Tukey*, considerando-se um nível de significância de 5%. Não houve diferença estatisticamente significativa entre os *softwares* quando a mesma condição era apresentada. No entanto, quando comparada com os grupos NP e GP, a acurácia de diagnóstico foi menor no grupo NM em qualquer *software* utilizado ($p < 0,05$). Concluiu-se que o diagnóstico de fratura radicular não depende do *software*, podendo o profissional utilizar o de sua preferência. Todavia, a presença de núcleo metálico diminui a possibilidade de um diagnóstico correto.

Palavras-chave: Tomografia computadorizada de feixe cônico, validação de *software*, raiz dentária, fraturas dos dentes, materiais restauradores do canal radicular.

ABSTRACT

Root fractures have limited clinical diagnosis because signs and symptoms are nonspecific. However, an accurate diagnosis is necessary as most fractures result in tooth extraction. In the last years, Cone beam computed tomography (CBCT) technology has been considered an advanced procedure to obtain images free from overlaps of maxillofacial structures. Usually CBCT images are exported in DICOM format, since there is a wide availability of software that use this format. Since it is a relatively new technology and that is spreading quickly among dental routine, this study evaluated the influence of segmentation and reconstruction of CBCT images in the diagnostic ability of experimentally induced vertical root fractures using software with DICOM platform. One hundred and ninety extracted, single-rooted, human teeth were included in the study. Each tooth had its root canal prepared, randomly coded and divided into 3 groups according to the pulp canal status: unrestored (UR); filled with gutta-percha (GP); and restored with a metallic custom post (Post). One-half of the sample of each group was artificially fractured and segments repositioned. The experimental sample was artificially fractured. A well-fitting gutta-percha cone was placed into the canal of GP group teeth, and a well-fitting post casted was placed into the canal of Post group ones. All teeth were placed in an empty maxillary anterior socket of a dentate dry human skull and scanned on a CBCT device according to the protocol recommended by the manufacturer for a 0.2-mm voxel resolution (8-cm FOV, 120kVp, 8mA, 40-sec). The images were converted to DICOM files, imported, reconstructed and analyzed into Dolphin, InVivo and KDIS3D software. The original images were also reconstructed and evaluated using the software of the scanner (Xoran). The images were coded and shown to three previously calibrated oral radiologist observers, who performed a dynamic evaluation. The observer's evaluation of the presence of root fracture was scored using a 5-point confidence rating scale. Sensitivity, specificity, and accuracy were calculated, and from the values found, ROC curves were constructed to assess the relationship between sensitivity and

specificity (area under the ROC curve). The influence of intra-canal material and software used was verified by an analysis of variance model (ANOVA) and pairwise comparisons performed using Tukey test, considering a significance level of 5%. Overall, there was not a statistically significant difference between softwares. Thus, the efficiency of the software was similar among them when the same condition (type of material present inside the canal) was shown. However, there was a statistically significant difference between the materials, considering accuracy, sensitivity and area under the ROC curve. Compared with UR and GP groups, the accuracy of diagnosis was significantly lower in the Post group when any software was used ($p < 0.05$). In conclusion, the diagnosis of root fracture does not depend on the software, which means that the professional should choose the one of his preference. However attention should be drawn to the fact that, regardless of the software used, the presence of metallic post decreases the chance of a correct diagnosis.

Keywords: Cone beam computed tomography, software validation, tooth root, tooth fractures, root canal filling materials.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1: Influência da utilização de diferentes softwares na capacidade de diagnóstico de fratura radicular vertical por TCFC	12
CAPÍTULO 2: Comparative diagnostic yield of CBCT reconstruction using various software programs on the detection of vertical root fractures	30
CONCLUSÃO.....	46
REFERÊNCIAS.....	47
APÊNDICE	50
ANEXO.....	61
Anexo 1	61
Anexo 2.....	65
Anexo 3.....	66

INTRODUÇÃO

As fraturas dentárias são alterações caracterizadas pela ruptura do tecido dentário, podendo envolver esmalte, cemento, dentina e/ou polpa dentária.

Dependendo da sua direção em relação ao longo eixo dentário, as fraturas podem ser classificadas em horizontais ou longitudinais. As fraturas horizontais apresentam direção perpendicular ao longo eixo do dente e são normalmente causadas por trauma envolvendo dentes anteriores de pacientes jovens do gênero masculino (Chan *et al.*, 1999). Por outro lado, as fraturas longitudinais se estendem pelo longo eixo do dente, podendo originar-se na região apical ou na porção coronal. Acometem qualquer dente e normalmente são causadas por forças excêntricas durante a oclusão ou por iatrogenias, como resultado de sucessivas restaurações em dentes vitais, da pressão exercida durante a obturação do canal radicular ou da adaptação deficiente de núcleos intra-radulares (Yeh, 1997; Youssefzadeh *et al.*, 1999; Cohen, *et al.*, 2003).

De acordo com a classificação mais recente, divulgada pela Associação Americana de Endodontia em 2008, as fraturas dentárias longitudinais podem ser agrupadas segundo a localização, direção e extensão da linha de fratura: fratura em esmalte, fratura de cúspide, dente fissurado, fratura com separação dentária e fratura radicular vertical. As fraturas em esmalte são trincas superficiais limitadas ao esmalte dentário. As fraturas de cúspide, fissuras e com separação dentária se iniciam na superfície oclusal e estendem-se apicalmente, envolvendo esmalte, dentina, cemento e, possivelmente, a polpa dentária. Diferindo das fraturas radiculares verticais que iniciam exclusivamente na raiz dentária, em qualquer porção da raiz, e podem se estender coronalmente (AAE, 2008).

O diagnóstico de fraturas radiculares verticais representa um dos maiores desafios da Odontologia, pois, apesar da relativa baixa incidência, elas são cada vez mais comuns como resultado da maior longevidade dos pacientes, com manutenção dos dentes na boca por mais tempo e a consequente acessibilidade a tratamentos odontológicos mais complexos (Andreasen, 1970;

Fuss *et al.*, 1999; Mora *et al.*, 2007). Além disso, com o aprimoramento dos métodos de diagnóstico, os profissionais têm obtido mais sucesso na detecção de fraturas radiculares, aumentando indiretamente a incidência dessas lesões. De acordo com Cohen *et al.* (2003), 91% das fraturas diagnosticadas por eles em 5 anos de pesquisa foram provocadas por planejamento incorreto dos núcleos metálicos ou por seleção inadequada do dente para pilar protético.

O diagnóstico precoce dos dentes com fraturas é fundamental para que se possa evitar danos extensos aos tecidos de suporte, já que fraturas radiculares apresentam um prognóstico sombrio e geralmente levam à extração dos dentes envolvidos (Cohen *et al.*, 2003; Mora *et al.*, 2007). Entretanto, imediatamente após o trauma os sintomas são variáveis e inespecíficos, dificultando a detecção de fraturas durante os exames iniciais (Mora *et al.*, 2007). O paciente pode apresentar dor de intensidade variada, mobilidade dentária, aumento de volume local, bolsa periodontal localizada e/ou fístula (Chan *et al.*, 1999; Youssefzadeh *et al.*, 1999; Cohen *et al.*, 2003; Hanning *et al.*, 2005; AAE, 2008). Por isso, muitas vezes o diagnóstico é alcançado apenas com visualização direta por meios cirúrgicos, o que torna o método de diagnóstico bastante invasivo.

As radiografias intrabucais convencionais são o método auxiliar mais utilizado no processo de elaboração do diagnóstico de fraturas dentárias (Kamburoglu *et al.*, 2009). Entretanto, como são imagens bidimensionais de estruturas anatômicas tridimensionais, a sobreposição das estruturas adjacentes prejudica a visualização das fraturas radiculares, limitando a sensibilidade da técnica para detecção deste tipo de alteração (Bernardes *et al.*, 2009). Ademais, o diagnóstico de fraturas radiculares pode ser difícil porque normalmente os únicos sinais radiográficos são radiolucências apicais e laterais inespecíficas (Tamse *et al.*, 2006), especialmente quando os segmentos da fratura estão justapostos e sem separação por edema ou tecido de granulação (Tsesis *et al.*, 2008; Kamburoglu *et al.*, 2009). Por outro lado, quando os fragmentos radiculares estão separados, a rarefação óssea comumente envolve toda a raiz (Cohen *et al.*, 2003).

Além da separação dos fragmentos, a detecção radiográfica das fraturas radiculares depende ainda da orientação do traço da fratura e da relação com o ângulo de incidência do feixe de raios x, visto que uma limitação das radiografias intrabucais no diagnóstico de fratura radicular é a ausência de sinal radiográfico quando o feixe de raios x não incide paralelo ao plano da fratura (Nair *et al.*, 2001). Logo, a aquisição de duas ou mais radiografias com variação na angulação horizontal ou vertical é uma alternativa recomendada para melhor visualização de fraturas radiculares, uma vez que a visualização da linha radiolúcida decorrente da fratura é o único achado patognomônico para sua detecção (Flores *et al.*, 2007).

Na última década, a radiografia digital se tornou uma alternativa à radiografia convencional. Kositbowornchai *et al.* (2001) e Tsesis *et al.* (2008) compararam a radiografia intrabucal digital direta e por filme, quanto à eficácia na detecção de fraturas radiculares experimentais, e concluíram que elas foram equivalentes. Provavelmente, esta equivalência deve-se ao fato da natureza bidimensional das radiografias convencionais ser comum às imagens digitais. No entanto, as vantagens do sistema digital – menor exposição do paciente à radiação ionizante, possibilidade de manipulação da imagem durante a interpretação, otimização do tempo, redução dos danos ambientais e eliminação dos custos com processamento – justificam sua adoção como exame complementar inicial (Wenzel & Gröndahl, 1995).

A limitação das imagens intrabucais em demonstrar adequadamente as fraturas radiculares indica a necessidade de métodos de diagnóstico por imagem alternativos, com uma resolução espacial suficiente, sem sobreposição e possibilidade de avaliação dinâmica, viabilizando o diagnóstico independentemente da direção da fratura (Nair *et al.*, 2002; Mora *et al.*, 2007).

Até então, a Tomografia Computadorizada (TC) era o exame por imagem mais indicado quando se desejava adquirir imagens livres de sobreposições das estruturas maxilofaciais. E os achados tomográficos já demonstraram um incremento na detecção de fraturas radiculares em comparação

com as radiografias digitais (Youssefzadeh *et al.*, 1999). Contudo, apesar do aprimoramento dos aparelhos de TC, os mesmos apresentam deficiências quando usados para fins odontológicos, tais como altas doses de radiação ionizante quando comparado com as radiografias convencionais, presença de artefatos, dificuldade na visualização de lesões em fase inicial, alto custo e a necessidade de amplo espaço físico (Hanning *et al.*, 2005).

No final da década de noventa foram desenvolvidos aparelhos tomográficos específicos para o uso odontológico, que realizam exames computadorizados a partir de um feixe de raios x cônico. A Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (TCFC), além do formato peculiar do feixe, também utiliza sensores bidimensionais, o que gera dados volumétricos de formato cilíndrico ou esférico, diretamente relacionado ao FOV (*field of view*, campo de visão) (Patel *et al.*, 2007). Aparelhos de FOV amplo capturam todo o esqueleto maxilofacial em um campo grande e, geralmente, apresentam uma menor resolução espacial. Já os aparelhos com FOV limitado, geralmente do tamanho de um filme periapical, utilizam detectores de alta resolução para exames de pequenas regiões da face, como apenas dois ou três dentes individualmente (Lofthag-Hansen *et al.*, 2007; Patel *et al.*, 2007).

A TCFC usada na Odontologia apresenta algumas diferenças em comparação à TC. A dose de radiação é uma delas e segundo Chau & Fung (2009), a dose nas glândulas salivares pela TC (7.49mGy) ainda é 8 vezes maior que pela TCFC (0.96mGy). Entretanto, a principal diferença entre as duas tecnologias está na forma como ocorre a aquisição e reconstrução do volume tomografado. Na TC, também conhecida como tomografia computadorizada de feixe em leque, cortes axiais ou coronais do objeto são sequencialmente reconstruídos, usando uma equação matemática complexa (*filtered back projection*), e posteriormente agrupados para reconstruir o volume. Por outro lado, a reconstrução a partir de projeções da TCFC é uma conquista relativamente recente, já que com o uso de detectores bidimensionais e feixe de formato cônico, a reconstrução se dá a partir de dados volumétricos. O primeiro e mais popular

algoritmo de reconstrução para projeções da TCFC adquiridas ao longo de uma trajetória circular é o método Feldkamp, Davis e Kress (FDK). Embora ele possa ser aplicado facilmente com os *hardwares* disponíveis no mercado e apresente uma boa reconstrução de imagens no centro do feixe cônico, há distorção inevitável nos cortes transversais periféricos e degradação da resolução no sentido longitudinal (Scarfe & Farman, 2008).

A princípio, as imagens por TCFC são visualizadas a partir do *software* proprietário (do inglês “*proprietary software*”, pacote de programas licenciado e com direitos exclusivos para determinado produtor), que apresenta ao clínico uma reconstrução secundária do volume nos três planos ortogonais (axial, sagital e coronal), geralmente na espessura mínima de corte semelhante ao *voxel* utilizado. (Scarfe & Farman, 2008). Geralmente estes *softwares* estão disponíveis apenas no computador diretamente conectado ao tomógrafo e/ou necessitam de licenças específicas para o uso. Todavia, as imagens por TCFC podem ser exportadas em formato de arquivo DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*), permitindo a utilização de *softwares* com plataforma de processamento de arquivos de domínio público. Atualmente existe uma grande quantidade de *softwares* que lêem arquivos DICOM e que disponibilizam ferramentas úteis nas diversas áreas da Odontologia, como ampliação, ajustes visuais (escala de cinza, níveis de brilho e contraste), inserção de anotações e mensurações, assim como reconstruções em terceira dimensão (Patel *et al.*, 2007; Scarfe & Farman, 2008).

Até o presente momento, poucos estudos avaliaram as características destes *softwares*, quando utilizados para fins de elaboração de diagnóstico. El & Palomo (2010), por exemplo, avaliaram o volume das vias aéreas superiores, utilizando 3 *softwares* com plataforma DICOM, e concluíram que todos os *softwares* apresentaram alta correlação, mas pobre acurácia, sugerindo a presença de erros sistemáticos.

A capacidade de diagnóstico das imagens por TCFC foi confirmada em inúmeros estudos. Na Endodontia, a TCFC demonstrou-se superior à radiografia intrabucal convencional e digital na detecção de lesões apicais (Lofthag-Hansen *et*

al., 2007) e apresentou alta sensibilidade e especificidade na detecção de reabsorção radicular externa (Liedke *et al.*, 2009; Estrela *et al.*, 2009; Neves *et al.*, 2012; de Azevedo Vaz *et al.*, 2012).

A possibilidade de detecção de fraturas radiculares verticais também vem sendo demonstrada em diversas oportunidades. Os trabalhos mais recentes encontrados na literatura que pesquisaram sobre este assunto estão resumidos a seguir.

Mora *et al.* (2007) compararam a acurácia da TCFC de FOV reduzido e da radiografia periapical convencional para detecção de fraturas radiculares verticais. Dez observadores avaliaram imagens de uma amostra de 60 dentes. Os observadores utilizaram uma escala de 5 pontos para diagnosticar a presença de fratura e a partir dos resultados obtidos calculou-se a área sob a curva ROC (Az). O Az médio para TCFC foi 0,91 e para a radiografia convencional foi de 0,70. Os autores concluíram que a TCFC aumentou significativamente a detecção de fracturas verticais *in vitro* em comparação com radiografia periapical convencional.

Hassan *et al.* (2009) avaliaram a acurácia da TCFC em comparação à radiografia intrabucal digital na detecção de fraturas radiculares em dentes tratados e não-tratados endodonticamente. Quatro observadores examinaram as imagens de 80 dentes, que foram preparados endodonticamente e divididos em quatro grupos. Os dentes dos grupos A e B foram fraturados artificialmente e os dentes dos grupos A e C tiveram os canais preenchidos com guta-percha. Os resultados indicaram uma acurácia maior da TCFC em comparação à radiografia intrabucal digital para detecção das fraturas radiculares. Embora a acurácia da TCFC não tenha sido reduzida pela presença de material obturador, sua especificidade foi diminuída. De acordo com os autores, substâncias radiopacas, como guta-percha, criam artefatos em forma de raio nas imagens tomográficas que podem mimetizar linhas de fratura, diminuindo a confiança do observador na elaboração do diagnóstico.

Wenzel *et al.* (2009) compararam a acurácia do diagnóstico de um sistema de radiografia intrabucal digital por placa de fósforo e um aparelho de

TCFC, nas resoluções de 0,125 mm e 0,25 mm, para detecção de fraturas radiculares verticais induzidas experimentalmente em 69 dentes humanos extraídos. As imagens por TCFC de maior resolução apresentaram sensibilidade e acurácia mais elevadas, sem perda na especificidade, quando comparadas às imagens por TCFC de menor resolução, que não foram mais acuradas que as radiografias intrabucais.

Hassan *et al.* (2010) avaliaram a acurácia de cinco aparelhos de TCFC para detecção de fraturas radiculares verticais, assim como a influência da presença de material intracanal no diagnóstico de fraturas. Para tal, 80 dentes foram preparados endodonticamente, posicionados em uma mandíbula seca e as imagens avaliadas por dois observadores nos três planos anatômicos. Os autores encontraram diferença estatística significativa na acurácia entre os cinco aparelhos e entre os planos anatômicos. Além disso, a presença de material intracanal não influenciou na sensibilidade, mas reduziu a especificidade.

O estudo de Ozer (2010) comparou a acurácia da TCFC e da radiografia digital (RD) na detecção de fraturas radiculares verticais simuladas com diferentes espessuras. Oitenta dentes foram preparados endodonticamente e divididos em 4 grupos, 3 experimentais e um de controle. Os grupos experimentais foram fraturados artificialmente em diferentes espessuras (0,2 mm; 0,4 mm; e menor do que 0,2 mm) e posteriormente os fragmentos fixados. Os dentes do grupo controle foram mantidos hígidos. Três observadores avaliaram as imagens. A TCFC foi mais acurada para a detecção de fraturas em todas as espessuras estudadas, em comparação com a RD. Contudo, espessuras menores apresentaram valores menores de acurácia. Os resultados deste estudo mostraram que os exames de TCFC são eficazes para a detecção de fraturas radiculares verticais de diferentes espessuras.

Melo *et al.* (2010) investigaram a influência de núcleos metálicos e guta-percha sobre a capacidade de diagnóstico da TCFC na avaliação de fraturas radiculares verticais. Além disso, a influência de variações no tamanho do *voxel* também foi avaliada. Este estudo incluiu cento e oitenta dentes, divididos em três

grupos (vazio, guta e núcleo) e colocados em um crânio humano seco. Metade dos dentes de cada grupo foi fraturada artificialmente. Todos os dentes foram tomografados em dois protocolos de resolução de *voxel* (0,3 mm e 0,2 mm). Um examinador calibrado avaliou as imagens usando o *software* próprio do aparelho. A presença de guta-percha e núcleo metálico reduziu a sensibilidade e especificidade em ambas as resoluções do *voxel*, mas sem diferença estatística. Os valores de especificidade foram semelhantes e não dependem da resolução do *voxel* adotada. Em contraste, os valores de sensibilidade foram significativamente superiores para o *voxel* de 0,2 mm. Por isso, os autores concluíram que a resolução de 0,3 mm não demonstrou ser um protocolo confiável para a investigação de fraturas radiculares longitudinais.

Varshosaz *et al.* (2010) avaliaram a capacidade de diagnóstico da TCFC em comparação com a radiografia convencional para detecção de fraturas radiculares verticais. Para tal, os autores utilizaram uma amostra de 100 dentes e seis observadores, que determinaram a presença de fraturas radiculares, utilizando uma escala de 5 pontos. Os autores encontraram uma área média sob a curva ROC (Az) para TCFC de 0,91 e para a radiografia convencional de 0,64, concluindo que a TCFC foi significativamente melhor do que a radiografia periapical convencional para diagnóstico de fraturas radiculares verticais *in vitro*.

Ozer (2011) comparou a acurácia de imagens por TCFC adquiridas com diferentes resoluções de *voxel* na detecção de fraturas radiculares verticais. Sessenta dentes, 30 com fratura radicular e 30 sem fratura, foram examinados em 4 diferentes resoluções de *voxel* (0,125; 0,2; 0,3; e 0,4 mm). Encontrou-se razões de verossimilhança de 0,97, 0,96, 0,93, e 0,92, respectivamente. Com isso, o autor concluiu que as imagens por TCFC foram confiáveis na detecção de fratura, e que o *voxel* de 0,2 mm foi o melhor protocolo, considerando a diminuição da exposição aos raios x, associada a um bom desempenho diagnóstico.

Costa *et al.* (2011) avaliaram a acurácia da TCFC de FOV reduzido e a influência da presença de pino metálico na detecção de fraturas radiculares horizontais. Quarenta dentes, divididos em quatro grupos de acordo com a

presença de pinos metálicos e/ou fratura radicular horizontal, foram escaneados em um aparelho com resolução de *voxel* de 0,2 mm e as imagens resultantes foram avaliadas por 3 observadores. Encontrou-se uma acurácia maior nos grupos onde não havia presença de pino intracanal, apresentando diferença estatística significativa quando comparado com os grupos com a presença de pino.

Já em 2012, os mesmos autores (Costa *et al.*) realizaram um estudo com metodologia semelhante para avaliar um aparelho de TCFC de FOV estendido. Dois observadores avaliaram imagens por TCFC com resolução de 0,2 mm, obtidas de quatro grupos de 10 dentes, divididos de acordo com a presença de pinos metálicos e/ou fratura radicular horizontal. Encontrou-se baixa acurácia e baixa concordância intra e interobservador, independentemente da presença ou ausência de pinos metálicos. Isso refletiu a dificuldade de se obter um diagnóstico adequado de fraturas radiculares horizontais quando imagens por TCFC com FOV estendido são utilizadas.

Khedmat *et al.* (2012) compararam a acurácia da radiografia digital (RD), tomografia computadorizada multi-detectores (TCMD) e tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) na detecção de fraturas radiculares verticais na ausência e presença de obturação com guta-percha. Os canais radiculares de 100 dentes unirradulares foram preparados, RD, TCMD e TCFC foram obtidas e as imagens avaliadas. Encontrou-se especificidade semelhante entre os métodos na ausência de guta-percha, sendo a TCFC a modalidade de imagem mais acurada e sensível. Já na presença de guta-percha, a acurácia da MDCT foi maior do que as outras modalidades de imagem, enquanto a TCFC foi a modalidade menos específica. Esses resultados permitiram que os autores recomendassem a utilização de TCMD como uma alternativa na presença de suspeita de fratura radicular em dentes obturados.

da Silveira *et al.* (2012) compararam a capacidade de diagnóstico da radiografia periapical e da TCFC na detecção de fraturas radiculares verticais, em 60 dentes com ou sem tratamento endodôntico e núcleos metálicos. Além disso, avaliou-se a influência da utilização de diferentes tamanhos de *voxel* (0,4; 0,3; e

0,2 mm). Para os autores, o exame radiográfico periapical com variação de ângulo horizontal deve ser incentivado como primeira abordagem complementar para avaliar a presença de fraturas radiculares verticais. Se a imagem convencional não for capaz de fornecer informações suficientes, exames por TCFC devem ser realizados. Para tanto, a condição da raiz orientará a escolha da resolução de *voxel*: resolução de 0,3 mm para raízes sem preenchimento e resolução de 0,2 mm para os dentes com tratamento endodôntico e/ou núcleo metálico.

Metska *et al.* (2012), utilizando dentes tratados endodonticamente *in vivo*, avaliaram dois aparelhos de TCFC diferentes para detecção de fraturas radiculares. A amostra final foi de trinta e nove pacientes que apresentavam dentes tratados endodonticamente e com suspeita de fratura. Nenhuma linha de fratura era visível em radiografias periapicais. Dois aparelhos de TCFC de FOV limitado foram utilizados: NewTom3G e Accuitomo170; e os resultados do retratamento, microcirurgia endodôntica ou extração foram considerados o padrão-ouro. A sensibilidade, a especificidade e acurácia para o NewTom3G foram 75%, 56% e 68%, respectivamente, e para o Accuitomo170 foram de 100%, 80% e 93%, respectivamente. Com isso, os autores sugerem que a reprodutibilidade e a acurácia na detecção de fratura radicular dependem do sistema de TCFC usado.

Ainda assim, o diagnóstico de fraturas radiculares representa um dos maiores desafios da era 3D na Odontologia, principalmente em dentes com tratamento endodôntico e reabilitador protético, pois os materiais utilizados nesses tratamentos tais como guta-percha, núcleos metálicos, coroas protéticas e restaurações, podem dificultar a visualização das linhas de fratura. Um problema significativo da TCFC, que afeta a qualidade e acurácia das imagens, são os artefatos causados pelas estruturas de alta densidade (Mora *et al.*, 2007; Sogur *et al.*, 2007). Se a causa do artefato estiver próxima ou associada ao dente a ser avaliado, as imagens por TCFC resultantes podem ter valor de diagnóstico diminuído (Lofthag-Hansen *et al.*, 2007; Estrela *et al.*, 2008).

Apesar da confiabilidade e acurácia dos aparelhos de TCFC já terem sido estudadas, são escassos os estudos que avaliam características relacionadas

aos *softwares* com plataforma DICOM quando os mesmos são utilizados para fins de diagnóstico (El & Palomo, 2010). Como os *softwares* de reconstrução utilizam algoritmos próprios, seria importante avaliar o comportamento dos mesmos ao processar imagens que apresentam estruturas/materiais potencialmente causadores de artefato.

O objetivo desse estudo foi, portanto, avaliar a influência da segmentação e reconstrução de imagens por TCFC comparando a capacidade de diagnóstico de três diferentes *softwares* que utilizam a plataforma DICOM com o *software* original no diagnóstico de fraturas radiculares longitudinais. Ademais, foi avaliada a influência de artefatos causados pela presença de material intracanal na reconstrução das imagens pelos quatro *softwares* estudados.

CAPÍTULO 1

A versão em inglês deste artigo foi submetida a apreciação, visando publicação, pelo periódico *Dentomaxillofacial Radiology*, considerado Qualis A1 pela CAPES. A formatação do artigo baseou-se nas “Instruções aos Autores” preconizadas pela editora do periódico (Anexo 1).

Influência da utilização de diferentes *softwares* na capacidade de diagnóstico de fratura radicular vertical por TCFC

Saulo LS Melo; William C Scarfe; Letícia R Corrêa; Allan G Farman; Francisco Haiter-Neto

Resumo

Objetivos: Avaliar a influência de quatro *softwares* odontológicos na capacidade de diagnóstico de fraturas radiculares verticais induzidas experimentalmente utilizando imagens por TCFC.

Material e métodos: Cento e oitenta dentes unirradiculares humanos foram divididos em 3 grupos, de acordo com a condição do canal radicular: não-preenchido (NP); preenchido com guta-percha (GP); e parcialmente preenchido por núcleo metálico fundido (NM). Metade dos elementos de cada grupo foram fraturados artificialmente, com posterior reposicionamento dos fragmentos. Em seguida, todos os dentes foram escaneados em um aparelho de TCFC (iCAT Platinum) com resolução do *voxel* de 0.2mm. As imagens foram exportadas em DICOM e analisadas nos *softwares* Dolphin, InVivo e KDIS3D. As imagens originais também foram avaliadas no *software* proprietário do aparelho. Foram selecionados três cirurgiões-dentistas radiologistas para avaliar as imagens quanto à ausência ou presença de fratura radicular. Curvas ROC foram construídas e a influência do material intracanal ou do *software* utilizado foi verificada através de um modelo de análise de variância (ANOVA) e comparações pareadas realizadas por meio do teste de *Tukey*, considerando-se um nível de significância de 5%.

Resultados: Não houve diferença estatística entre os *softwares* quando a mesma condição era apresentada (tipo de material presente no interior do canal radicular). No entanto, a capacidade de diagnóstico de fratura radicular foi menor na presença de núcleo metálico fundido.

Conclusão: O diagnóstico de fratura radicular não depende do *software*. Todavia, a presença de núcleo metálico diminui o diagnóstico de fraturas radiculares induzidas artificialmente.

Palavras-chave: Tomografia computadorizada de feixe cônico, *software* de reconstrução, DICOM, fratura radicular, testes de diagnóstico.

Introdução

O exame radiográfico é um componente essencial no manejo dos problemas endodônticos e está presente em todas as etapas, desde o diagnóstico e planejamento do tratamento até a avaliação de resultados.¹ Nesse sentido, as imagens por Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (TCFC) representam um grande avanço, já que permitem que o profissional avalie a área de interesse em qualquer plano, a partir do uso de *softwares* de manuseio relativamente simples.²

A princípio, as imagens por TCFC são visualizadas a partir do *software* proprietário (do inglês “*proprietary software*”, pacote de programas licenciado e com direitos exclusivos para determinado produtor), que apresenta ao clínico uma reconstrução secundária do volume nos três planos ortogonais (axial, sagital e coronal), geralmente na espessura de corte semelhante ao *voxel* utilizado.³ Normalmente estes *softwares* estão disponíveis apenas no computador diretamente conectado ao tomógrafo e/ou necessitam de licenças específicas para o uso. Todavia, as imagens por TCFC podem ser exportadas em formato de arquivo DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*), permitindo a utilização de *softwares* com plataforma de processamento de arquivos de domínio público.

A plataforma DICOM estabelece especificações detalhadas de formatação e transmissão de dados, permitindo que imagens adquiridas em diferentes aparelhos possam ser processadas por um mesmo *software*. Esta plataforma foi desenvolvida baseando-se em imagens por Tomografia Computadorizada de Feixe em Leque e Ressonância Magnética, que apresentam as imagens primárias em uma das direções ortogonais: axial ou coronal. Considerando-se que as imagens-base da TCFC são semelhantes à telerradiografias laterais e pósterio-antérieures,³ é necessário modificá-las antes de ser possível exportá-las em DICOM. Para isso, o *software* proprietário processa as imagens de forma que as imagens-base sejam comprimidas em um volume de dados, que é posteriormente ressegmentado em imagens primárias axiais e, então, arquivadas em formato DICOM. Atualmente existe uma grande quantidade de *softwares* que processam arquivos DICOM e que disponibilizam ferramentas úteis nas diversas áreas da Odontologia, como ampliação, ajustes visuais (escala de cinza, níveis de brilho e contraste), inserção de anotações e mensurações, assim como reconstruções em terceira dimensão.^{1,3}

A capacidade de diagnóstico das imagens por TCFC na Endodontia já foi comprovada em inúmeras oportunidades, mostrando-se superior a radiografia intrabucal convencional e digital na detecção de lesões apicais e apresentando alta sensibilidade e especificidade na detecção de reabsorção radicular externa.⁴⁻⁷ A possibilidade de detecção de fraturas radiculares pela TCFC também já foi estudada.⁸⁻²⁰ Ainda assim, o diagnóstico de fraturas radiculares representa um dos maiores desafios da era 3D na Odontologia. Apesar da relativa baixa incidência – 0,5 a 10,1% das lesões que acometem a dentição permanente – as fraturas longitudinais são cada vez mais comuns, resultantes da maior longevidade dos pacientes, com manutenção dos dentes na boca por mais tempo e a consequente acessibilidade a tratamentos odontológicos mais complexos.^{8,21,22} A incidência de fraturas também pode ter sido subestimada nos estudos prévios com imagens radiográficas bidimensionais convencionais e digitais. Ainda, os materiais geralmente utilizados em tratamentos restauradores complexos, tais como guta-

percha, núcleos metálicos, coroas protéticas e restaurações, podem dificultar a visualização das linhas de fratura em imagens por TCFC, pois um problema significativo e que afeta a qualidade e acurácia das imagens, são os artefatos causados pela alta densidade de estruturas/materiais.^{8,23} Se a causa do artefato estiver próxima ou associada ao dente a ser avaliado, as imagens por TCFC podem ter valor de diagnóstico diminuído.⁴

Apesar da confiabilidade e acurácia dos aparelhos de TCFC já terem sido avaliadas, ainda são escassos os estudos que verificam tais características quando *softwares* com plataforma DICOM são utilizados para fins de elaboração de diagnóstico.²⁴ Como os *softwares* de reconstrução utilizam algoritmos próprios, considera-se importante avaliar como os mesmos se comportam ao processar imagens que apresentam estruturas potencialmente causadoras de artefatos. O objetivo desse estudo foi, portanto, avaliar a influência da segmentação e reconstrução de imagem por quatro *softwares* na capacidade de diagnóstico de fraturas radiculares verticais, com diferentes condições de preenchimento do canal radicular, em imagens por TCFC.

Materiais e Métodos

A metodologia apresentada foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil.

A amostra do presente estudo foi composta por cento e oitenta dentes unirradiculares humanos, extraídos por indicação terapêutica. Para ser incluído na amostra, os dentes foram inspecionados por transluminação, para a confirmação da ausência de fratura radicular, e por meio de radiografias periapicais, para eliminação de dentes com obliteração do canal radicular. Após desinfecção com glutaraldeído a 2%, em cada dente pertencente à amostra foi feita abertura de acesso e os canais radiculares foram preparados com o sistema rotatório ProTaper (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) até a lima F5. Completada a instrumentação dos canais, a coroa dos dentes era removida tendo como

referência a junção amelocementária, para eliminar qualquer viés de identificação (por exemplo, fraturas em esmalte).^{9,12} Posteriormente, os dentes foram aleatoriamente identificados e divididos em 3 grupos, de acordo com a condição do canal radicular: (1) grupo controle com o canal radicular não-preenchido [NP], (2) conduto radicular preenchido com guta-percha [GP], e (3) conduto radicular parcialmente preenchido por núcleo metálico fundido [NM].

Nos dentes do grupo GP um cone de guta-percha do sistema ProTaper nº F5 bem adaptado foi inserido no interior do canal radicular e núcleos metálicos fundidos de liga de ouro tipo III foram confeccionados nos dentes do grupo Núcleo. Em seguida uma nova radiografia periapical foi obtida, para melhor avaliação da adaptação do cone de guta-percha e do núcleo metálico no canal radicular. A seguir, os materiais de preenchimento do canal (guta-percha e núcleo metálico) foram removidos para facilitar a indução da fratura em metade da amostra de cada grupo.

Fraturas radiculares foram induzidas segundo descrito por Melo *et al*, adaptado de Monaghan *et al*.^{13,25} Cada dente da amostra experimental foi revestido por uma camada de cera rosa 7 de 02 mm, para proteger a superfície radicular, e fixado em um mini torno de bancada. Uma cunha metálica cônica com ponta biselada foi introduzida apicalmente no canal até encontrar resistência, provocando a fratura. Os dentes fraturados foram inspecionados novamente por transluminação para confirmar a presença e a morfologia da fratura. Dez dentes foram utilizados para padronizar a força que necessitava ser aplicada para induzir fratura e foram excluídos da amostra final. A seguir, os fragmentos foram cuidadosamente reposicionados em sua posição original. Os cones de guta-percha e núcleos metálicos foram reinseridos nos dentes correspondentes, tomando-se o cuidado de não separar os fragmentos. Ressalta-se a não utilização de cimento endodôntico em nenhum momento, pois o mesmo poderia se infiltrar na linha de fratura, realçando-a.¹³ Por fim, novas radiografias periapicais foram obtidas com o intuito de averiguar a adaptação do material de preenchimento radicular e possíveis deslocamentos dos fragmentos fraturados.

Antes da obtenção das imagens tomográficas, cada dente foi posicionado no alvéolo de um incisivo central superior direito em uma maxila dentada de um crânio humano seco. O dente a ser analisado foi sustentado no alvéolo por uma fina camada de cera rosa 7, a fim de simular o aspecto radiográfico do espaço do ligamento periodontal. Além disso, para simular a interferência dos tecidos moles na formação da imagem, o crânio foi recoberto com uma camada de 5mm de espessura de cera rosa 7. As imagens tomográficas foram adquiridas no aparelho i-CAT (Imaging Sciences International, Hatfield, PA), de acordo as recomendações do fabricante, seguindo o protocolo de escaneamento da maxila para o *voxel* de 0.2mm (120kV, 8 mA, FOV de 8cm e 40s de tempo de aquisição). As imagens foram processadas, arquivadas no seu formato original (.xstd) e, em seguida, exportadas em formato DICOM *multi-file*, utilizando o *software* proprietário Xoran (Xoran CAT, version 3.0.34, Xoran Technologies, Ann Arbor, MI). Os arquivos DICOM foram importados e arquivados nos *softwares* Dolphin (Dolphin Imaging & Management Solutions, version 11.5, Patterson Dental Supply Inc, St. Paul, MN), KDIS3D (Kodak Dental Imaging Software 3D module, version 2.1.11, Carestream Health Inc, Rochester, NY) e InVivo (InVivoDental, version 5.0, Anatomage Inc, San Jose, CA).

As imagens de cada dente foram reconstruídas em cada um dos quatro *softwares* separadamente (Dolphin, KDIS3D, InVivo e Xoran). A princípio o dente em questão era realinhado com seu longo eixo paralelo ao plano sagital, para então serem obtidos cortes nos três planos ortogonais (sagital, axial e coronal). As imagens resultantes foram codificadas aleatoriamente e analisadas em um monitor LCD de 24 polegadas de alta resolução (MDRC-2124, resolução de 1920x1200, Barco Inc, Duluth, GA) em condições padronizadas de luminosidade do ambiente. Grupos de 20 imagens por dia foram avaliados, individualmente, por três observadores, que tinham a liberdade de utilizar as ferramentas disponibilizadas por cada *software*. Os observadores eram cirurgiões-dentistas, radiologistas, com experiência mínima de 10 anos em diagnóstico por tomografia computadorizada e previamente calibrados. A calibração foi realizada para cada *software* e consistiu

na instrução oral e por escrito sobre o manuseio do *software*, além da demonstração de casos onde era possível a visualização ou não de fratura radicular. As avaliações foram registradas pelos observadores em ficha-padrão, utilizando uma escala de 5 pontos: (1) fratura definitivamente ausente; (2) fratura provavelmente ausente; (3) incerteza; (4) fratura provavelmente presente; (5) fratura definitivamente presente. Ao final, foram coletadas 2160 respostas (180 dentes x 4 *softwares* x 3 observadores).

O coeficiente de correlação intraclassa (ICC) foi calculado para avaliar a concordância intra-observador e inter-observador. Os coeficientes de concordância entre 0 e 0,20 foram considerados "ruins", entre 0,21 e 0,40 considerados "fracos", entre 0,41 e 0,60 considerados "regulares", entre 0,61 e 0,80 considerados "substanciais" e aqueles acima de 0,80 foram considerados "quase perfeitos". A capacidade de diagnóstico para cada *software* e observador foi avaliada por meio de análise das curvas ROC (*Receiver operating characteristic curves*). A análise ROC foi realizada reunindo as respostas dos observadores para cada *software* e condição. A influência do material intracanal e do *software* utilizado foi verificada através de um modelo de análise de variância (ANOVA). Além disso, comparações pareadas da área sob a curva ROC dos quatro *softwares* nas três condições de preenchimento do canal foram realizadas por meio do teste de *Tukey*. Para a análise dos dados, utilizou-se o programa SigmaStat for Windows (Version 3.5; Systat Software Inc, Erkrath, Alemanha), considerando-se um nível de significância de 5%.

Resultados

Os coeficientes de concordância intraobservador variaram de fraco a substancial, enquanto a concordância interobservador indicou uma correlação regular (Tabela 1).

Tabela 1. Concordância intra- e interobservador (ICC) para detecção de fraturas radiculares verticais.

	Intraobservador			Interobservador
	Obs1	Obs2	Obs3	
NP	0,62	0,73	0,67	0,54
GP	0,35	0,80	0,57	0,42
NM	0,40	0,73	0,37	0,40
Geral	0,46	0,76	0,56	0,47

NP, não-preenchido; GP guta-percha; NM núcleo metálico.

A Figura 1 ilustra imagens axiais obtidas pelos 4 *softwares* avaliados, para um mesmo dente de cada grupo.

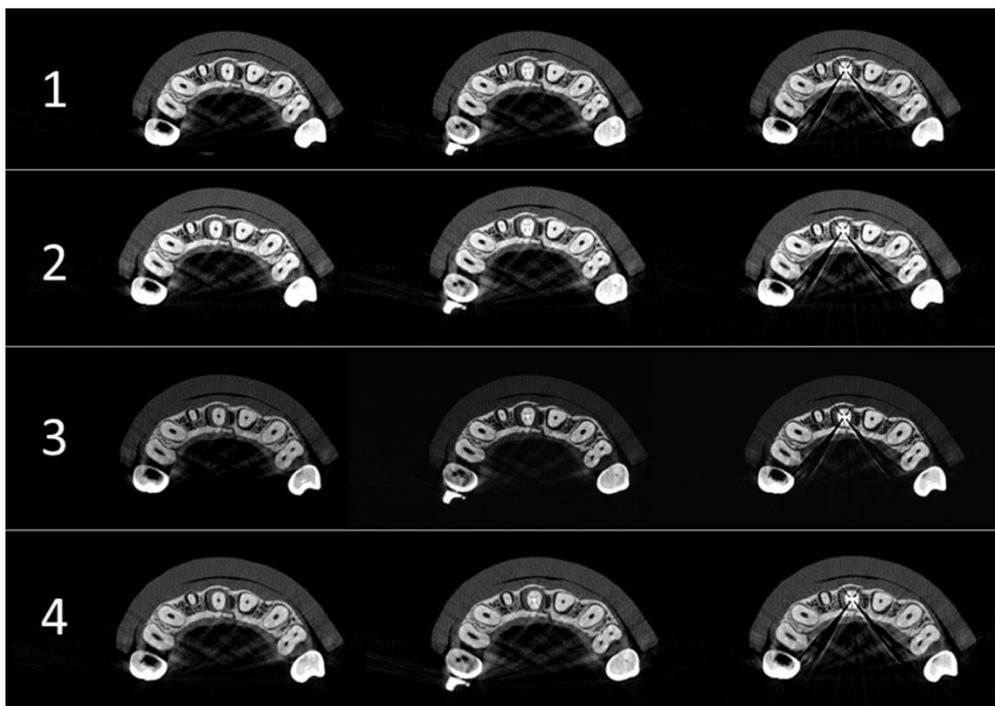


Figura 1. Reconstruções axiais na altura da porção cervical da raiz de dentes com fraturas radiculares verticais semelhantes. Os quatro softwares testados estão representados pelos números: (1) Dolphin, (2) InVivo, (3) KDIS3D, e (4) Xoran. Imagens de um mesmo dente de cada grupo são apresentadas nas colunas: NP (esquerda), GP (central), e NM (direita).

Os dados de cada avaliação dos três observadores foram agrupados. A Tabela 2 resume os resultados gerais de sensibilidade, especificidade e acurácia no diagnóstico de fraturas radiculares verticais por cada *software* em cada grupo. Baseando-se nas médias encontradas, não houve diferença estatisticamente significativa em nenhum resultado. Todavia, observou-se que o *software* Dolphin apresentou valores de sensibilidade discretamente maiores que os demais. Já a especificidade foi maior para o *software* Invivo (89%), quando comparado com Xoran (87%), KDIS3D e Dolphin (85% em ambos). Por fim, a acurácia de todos os *softwares* foi muito próxima, 73% em três *softwares* (Dolphin, InVivo e Xoran) e 72% no KDIS3D.

Tabela 2. Sensibilidade, especificidade e acurácia de cada *software* em cada grupo para o diagnóstico de fraturas radiculares verticais.

Grupo	Sensibilidade				Especificidade				Acurácia			
	Dolphin	InVivo	KDIS3D	Xoran	Dolphin	InVivo	KDIS3D	Xoran	Dolphin	InVivo	KDIS3D	Xoran
NP	0,71 ^A	0,65 ^A	0,71 ^A	0,73 ^A	0,88	0,87	0,85	0,79	0,79 ^A	0,76 ^A	0,78 ^A	0,76 ^A
GP	0,68 ^A	0,61 ^A	0,63 ^A	0,61 ^A	0,81	0,91	0,78	0,91	0,74 ^A	0,76 ^A	0,70 ^A	0,76 ^A
NM	0,43 ^B	0,41 ^B	0,44 ^B	0,41 ^B	0,87	0,91	0,91	0,92	0,65 ^B	0,66 ^B	0,68 ^B	0,67 ^B
Geral	0,60	0,56	0,59	0,58	0,85	0,89	0,85	0,87	0,73	0,73	0,72	0,73

Médias com letras diferentes apresentaram diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$). NP, não-preenchido; GP guta-percha; NM núcleo metálico.

A média das áreas sob as curvas ROC estão na Tabela 3 e Figura 2. Em geral, não houve diferença estatisticamente significativa entre os *softwares*. Desse modo, a eficácia dos *softwares* não dependeu do tipo de material presente no interior do canal. No entanto, houve uma diferença estatisticamente significativa entre os materiais, considerando acurácia, sensibilidade e área sob a curva ROC.

Se comparado com os grupos NP e GP, a acurácia do diagnóstico foi significativamente menor no grupo NM quando qualquer *software* era utilizado. O teste de *Tukey* foi utilizado para isolar quais grupos diferiram dos demais.

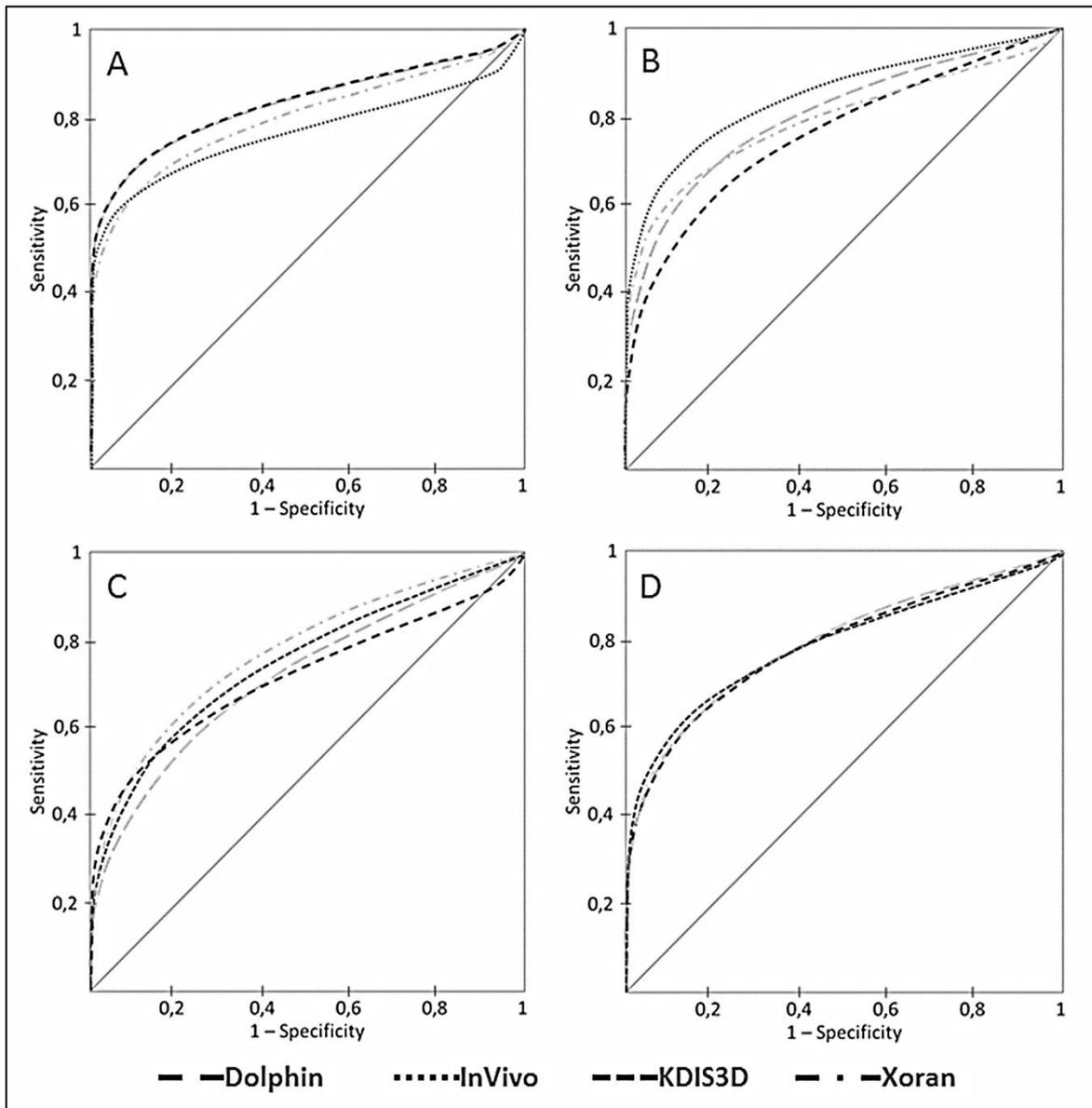


Figura 2. Curvas ROC dos quatro *softwares* testados em cada grupo: (A) Canal não preenchido, NP; (B) Canal preenchido com guta-percha, GP; (C) Canal parcialmente preenchido com núcleo metálico, NM e (D) Geral, com todos os dados agrupados.

Tabela 3. Média das áreas sob as curvas ROC [A_z (dp)] dos 3 observadores para o diagnóstico de fraturas radiculares verticais.

Grupo	Dolphin	InVivo	KDIS3D	Xoran
NP	0,83 ^A (0,04)	0,77 ^A (0,04)	0,83 ^A (0,04)	0,80 ^A (0,03)
GP	0,80 ^A (0,03)	0,85 ^A (0,03)	0,76 ^A (0,04)	0,80 ^A (0,04)
NM	0,72 ^B (0,04)	0,75 ^B (0,05)	0,71 ^B (0,05)	0,77 ^B (0,06)
Overall	0,79 (0,02)	0,79 (0,02)	0,79 (0,02)	0,78 (0,02)

Médias com letras diferentes apresentaram diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$). NP, não-preenchido; GP guta-percha; NM núcleo metálico.

Discussão

Um dos diagnósticos mais difíceis de serem realizados na prática clínica odontológica é o diagnóstico de fraturas radiculares, devido aos sinais e sintomas clínicos discretos e as limitações inerentes às projeções radiográficas. Vários autores têm avaliado a confiabilidade e a precisão das imagens por TCFC para este fim, considerando-se diferentes parâmetros, tais como aparelhos, resolução de imagem, e artefatos.⁸⁻²⁰ Todavia, nenhum deles investigou se há influência da reconstrução de imagem por diferentes *softwares* na precisão do diagnóstico. Portanto, o presente estudo avaliou a influência da reconstrução de imagens por TCFC utilizando-se 4 *softwares* na capacidade de diagnóstico de fraturas radiculares verticais induzidas artificialmente.

Os pacotes de *software* capazes de processar arquivos DICOM podem ser categorizados em *software* proprietário e *software* independente. Os proprietários são fornecidos pelos fabricantes dos aparelhos de TCFC e são utilizados tanto para aquisição quanto para visualização das imagens. A maioria dos *softwares* proprietários permitem a conversão do seu formato de arquivo próprio (por exemplo, .xstd) em arquivos de domínio público DICOM.²⁶ Já os *softwares*

independentes são geralmente comercializados individualmente, sem estarem diretamente associados a um *hardware* específico. Alguns *softwares*, tanto proprietários quanto independentes, estão disponíveis gratuitamente na internet e são úteis para visualização de imagens DICOM.²⁷

Dentre o número crescente de pacotes de *softwares* dedicados à gestão e análise de imagens DICOM, o presente estudo avaliou três deles: Dolphin, InVivo e KDIS3D. Os dois primeiros devem ser comprados enquanto o último está disponível gratuitamente. Avaliou-se ainda o *software* proprietário Xoran, utilizado para a aquisição das imagens e visualização dos arquivos no formato original (.xstd). Os resultados encontrados indicam que a escolha do *software* não têm qualquer influência sobre a acurácia das imagens por TCFC para a detecção de fraturas radiculares verticais simuladas. Também foram previamente descritas a concordância e acurácia de três *softwares* DICOM disponíveis comercialmente (Dolphin, InVivo e OnDemand3D) para a medição do volume das vias aéreas superiores.²⁴ Para essa função, verificou-se que, embora os 3 fossem altamente concordantes em seus cálculos de volume das vias aéreas, eles demonstraram uma acurácia pobre, sugerindo erros sistemáticos.²⁴

Por outro lado, foi demonstrado que o conteúdo intracanal tem influência direta na capacidade de diagnóstico de fraturas radiculares verticais. Apesar dos resultados obtidos para os grupos sem preenchimento intracanal e preenchidos com guta-percha não terem apresentado diferenças significativas, o preenchimento parcial com núcleo metálico reduziu significativamente a capacidade de diagnóstico da imagem. É interessante ressaltar que os resultados de especificidade tiveram o comportamento oposto. O grupo com núcleo metálico apresentou os maiores valores de especificidade, porém sem diferir estatisticamente dos demais. Alguns estudos da literatura revisada^{9-11,13,15-20} não corroboram os resultados encontrados no presente estudo, pois encontraram valores mais elevados para a sensibilidade, especificidade, e acurácia no diagnóstico de fratura radicular, exceto para a especificidade em dentes preenchidos por núcleos metálicos (Figura 3).

Resultados*	Grupo	Sensibilidade	Especificidade	Acurácia
Maiores	NP	0,80 – 0,97 ^{9,13,15,18,19}	0,95 – 1,00 ^{9,16-19}	0,80 – 0,98 ^{16,18,19}
	GP	0,75 – 0,97 ^{9,13,18-20}	0,93 ^{9,10,13,18,19}	0,81 – 0,95 ^{11,19}
	NM	0,55 – 0,90 ^{13,17,19}	-	0,82 – 0,88 ^{16,17,19}
Similares	NP	0,65 – 0,72 ^{10,16,17}	0,75 – 0,90 ^{13,16-18}	0,75 – 0,80 ^{16,17}
	GP	-	0,87 ⁹	0,68 – 0,72 ^{11,18,20}
	NM	0,40 – 0,45 ¹⁶	0,85 – 0,90 ^{16,17}	0,60 – 0,70 ^{16,17}
Menores	NP	0,20 – 0,63 ¹⁷	0,20 – 0,60 ^{16,17}	0,35 – 0,68 ^{16,17}
	GP	-	0,56 – 0,73 ^{13,18,20}	0,62 – 0,67 ¹¹
	NM	-	0,35 – 0,80 ^{13,16,17,19}	0,38 – 0,58 ^{16,17}

Figura 3. Quadro comparativo dos resultados atuais com os encontrados na literatura para a capacidade de diagnóstico de fratura radicular vertical pela TCFC.

NP, não-preenchido; GP guta-percha; NM núcleo metálico.

*Em relação aos resultados encontrados no presente estudo.

Sensibilidade e especificidade são medidas fundamentais da acurácia de um teste de diagnóstico. A sensibilidade representa a capacidade de um teste em diagnosticar corretamente a presença de doença quando a doença está, na verdade, presente (verdadeiro positivo), enquanto que a especificidade representa a capacidade do teste em corretamente excluir a presença de doença quando esta está verdadeiramente ausente (verdadeiro negativo). Pelo fato do prognóstico dos casos de fratura radicular ser pobre e da extração do dente ou remoção da raiz se fazer muitas vezes necessária, resultados falso-positivos e/ou falso-negativos devem ser evitados.¹³ Como, na presente pesquisa foi encontrada uma alta especificidade e baixa sensibilidade nos grupos GP e NM, acredita-se que os

observadores tenham evitado diagnosticar uma possível presença de fratura quando artefatos estivessem presentes.

Um artefato é qualquer distorção ou erro na imagem e que não tem relação direta com o sujeito examinado. A presença de materiais hiperdensos (por exemplo, guta-percha e núcleos metálicos) pode gerar artefatos lineares graves. Eles ocorrem devido ao fenômeno de endurecimento do feixe de radiação ou do decaimento da quantidade de fótons que atingem o detector, resultando em listras horizontais na imagem e perda de nitidez nas reconstruções. O endurecimento do feixe acontece quando a energia média do feixe de radiação aumenta, devido a uma maior absorção de fótons de baixa energia pelo objeto. Como a TCFC possui um feixe heterocromático e opera com uma quilovoltagem-pico menor quando comparada com a TC *multislice*, este tipo de artefato apresenta-se mais pronunciado em imagens por TCFC.³ Apesar dos observadores não terem sido orientados a avaliar diretamente a presença de artefatos de imagem, é possível que os artefatos lineares causados pela guta-percha e núcleo metálico tenham simulado linhas de fratura e influenciado sua capacidade de diagnóstico.

A espessura da fratura também tem uma influência direta sobre a capacidade de diagnóstico da TCFC.^{12,13} Quanto mais espessa é a linha de fratura, mais fácil é a sua detecção. No presente estudo, todas as fraturas simuladas foram extremamente finas (*hairline*, “fio de cabelo”) para simular uma situação pós-trauma imediato onde a presença edema ou tecido de granulação ainda não tenha deslocado os fragmentos fraturados.^{10,12} Além disso, a fim de simular o procedimento preconizado em uma situação clínica real, toda a amostra foi tomografada no menor tamanho de *voxel* disponível (0,2 mm) no aparelho de TCFC usado. Este protocolo tem sido proposto como sendo o ideal para o diagnóstico quando o canal radicular encontrar-se preenchido por guta-percha ou núcleo metálico.^{13,19} Não obstante, a linha de fratura tênue associada aos artefatos lineares pode explicar os resultados falso-positivos e falso-negativos encontrados no presente estudo.

Em uma situação clínica real, as imagens radiográficas devem ser correlacionados com parâmetros clínicos (sondagem, mobilidade dentária, sensibilidade durante a mastigação, etc) para auxiliar no diagnóstico de fraturas radiculares. O presente estudo não forneceu informações adicionais que pudessem influenciar ou, de fato, melhorar a capacidade de diagnóstico pelos observadores. De fato, estudos clínicos são necessários para elucidar a influência da história clínica na capacidade de diagnóstico da TCFC. Além disso, este estudo foi limitado a quatro dos *softwares* disponíveis no mercado.

Por fim, pode-se concluir que o diagnóstico de fratura radicular vertical não dependeu do *software* utilizado para reconstruir as imagens por TCFC arquivadas em formato DICOM. No entanto, a capacidade de diagnóstico dos *softwares* estudados foi reduzida significativamente quando os canais radiculares apresentavam-se parcialmente preenchidos com núcleo metálico.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Brasil) pela bolsa de estudos do Programa de Doutorado com Estágio no Exterior (PDEE).

À Faculdade de Odontologia da Universidade de Louisville (Kentucky, EUA) pelo suporte técnico ao primeiro autor enquanto aluno de pós-graduação visitante.

Referências

1. Patel S, Dawood A, Ford TP, Whaites E. The potential applications of cone beam computed tomography in the management of endodontic problems. *Int Endod J* 2007; 40: 818-830.
2. Patel S. New dimensions in endodontic imaging: Part 2. Cone beam computed tomography. *Int Endod J* 2009; 42: 463-475.
3. Scarfe WC, Farman Ag. What is cone-beam CT and how does it work? *Dent Clin N Am* 2008; 52: 707-730.

4. Lofthag-Hansen S, Huuonen S, Gröndahl K, Gröndahl HG. Limited cone-beam CT and intraoral radiography for the diagnosis of periapical pathology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007; 103: 114-119.
5. Liedke GS, Silveira HED, Silveira HLD, Dutra V, Figueiredo JAP. Influence of voxel size in the diagnostic ability of cone beam tomography to evaluate simulated external root resorption. *J Endod* 2009; 35: 233-235.
6. Neves FS, Vasconcelos TV, Vaz SL, Freitas DQ, Haiter-Neto F. Evaluation of reconstructed images with different voxel sizes of acquisition in the diagnosis of simulated external root resorption using cone beam computed tomography. *Int Endod J* 2012; 45: 234-239.
7. de Azevedo Vaz SL, Vasconcelos TV, Neves FS, de Freitas DQ, Haiter-Neto F. Influence of cone-beam computed tomography enhancement filters on diagnosis of simulated external root resorption. *J Endod* 2012; 38: 305-308.
8. Mora MA, Mol A, Tyndall DA, Rivera EM. Effect of the number of basis images on the detection of longitudinal tooth fractures using local computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 2007; 36: 382-386.
9. Hassan B, Metska ME, Ozok AR, Stelt PVD, Wesselink PR. Detection of vertical root fractures in endodontically treated teeth by a cone beam computed tomography scan. *J Endod* 2009; 35: 719-722.
10. Wenzel A, Haiter Neto F, Frydenberg M, Kirkevang LL. Variable-resolution cone-beam computerized tomography with enhancement filtration compared with intraoral photostimulable phosphor radiography in detection of transverse root fractures in an in vitro model. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009; 108: 939-945.
11. Hassan B, Metska ME, Ozok AR, Stelt PVD, Wesselink PR. Comparison of five cone beam computed tomography systems for the detection of vertical root fractures. *J Endod* 2010; 36: 126-129.
12. Özer SY. Detection of vertical root fractures of different thicknesses in endodontically enlarged teeth by cone beam computed tomography versus digital radiography. *J Endod* 2010; 36: 1245-1249.

13. Melo SLS, Bortoluzzi EA, Abreu Jr M, Corrêa LR, Corrêa M. Diagnostic ability of a cone-beam computed tomography scan to assess longitudinal root fractures in prosthetically treated teeth. *J Endod.* 2010; 36: 1879-1882.
14. Varshosaz M, Tavakoli MA, Mostafavi M, Baghban AA. Comparison of conventional radiography with cone beam computed tomography for detection of vertical root fractures: an in vitro study. *J Oral Sci* 2010; 52: 593-597.
15. Özer SY. Detection of vertical root fractures by using cone beam computed tomography with variable voxel sizes in an in vitro model. *J Endod* 2011; 37: 75-79.
16. Costa FF, Gaia BF, Umetsubo OS, Cavalcanti MGP. Detection of horizontal root fracture with small-volume cone-beam computed tomography in the presence and absence of intracanal metallic post. *J Endod* 2011; 37: 1456-1459.
17. Costa FF, Gaia BF, Umetsubo OS, Pinheiro LR, Tortamano IP, Cavalcanti MGP. Use of large-volume cone-beam computed tomography in identification and localization of horizontal root fracture in the presence and absence of intracanal metallic post. *J Endod* 2012; 38: 856-859.
18. Khedmat S, Rouhi N, Drage N, Shokouhinejad N, Nekoofar MH. Evaluation of three imaging techniques for the detection of vertical root fractures in the absence and presence of gutta-percha root fillings. *Int Endod J* 2012; 45: 1004-1009.
19. da Silveira PF, Vizzotto MB, Liedke GS, da Silveira HLD, Montagner F, da Silveira HED. Detection of vertical root fractures by conventional radiographic examination and cone beam computed tomography – an in vitro analysis. *Dent Traumatol* (in press).
20. Metska ME, Aartman IHA, Wesselink PR, Özok AR. Detection of vertical root fractures in vivo in endodontically treated teeth by cone-beam computed tomography scans. *J Endod* 2012; 38: 1344-1347.
21. Andreasen JO. Etiology and pathogenesis of traumatic dental injuries. A clinical study of 11.298 cases. *Scand J Dent Res* 1970; 78: 329-342.

22. Matsuda K, Ikebe K, Enoki K, Tada S, Fujiwara K, Maeda Y. Incidence and association of root fractures after prosthetic treatment. *J Prosthodont Res* 2011; 55: 137-140.
23. Sogur E, Baks BG, Grondahl HG. Imaging of root canal fillings: a comparison of subjective image quality between limited cone-beam CT, storage phosphor and film radiography. *Int Endod J* 2007; 40: 179-185.
24. El H, Palomo JM. Measuring the airway in 3 dimensions: A reliability and accuracy study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 137: S50.e1-S50.e9.
25. Monaghan P, Bajalcaliev JG, Kaminski EJ, Lautenschlager EP. A method for producing experimental simple vertical root fractures in dog teeth. *J Endod* 1993; 19: 512-515.
26. Grauer D, Cevidanes LSH, Proffit WR. Working with DICOM craniofacial images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 136: 460-470.
27. Graham RNJ, Perriss RW, Scarsbrook AF. DICOM demystified: A review of digital file formats and their use in radiological practice. *Clin Radiol* 2005; 60: 1133-1140.

CAPÍTULO 2

Comparative diagnostic yield of CBCT reconstruction using various software programs on the detection of vertical root fractures

Saulo LS Melo; William C Scarfe; Leticia R Correa; Allan G Farman; Francisco Haiter-Neto

Abstract

Objectives: To evaluate the effect on diagnostic yield in the detection of experimentally induced vertical root fractures on CBCT images using four dental softwares.

Methods: One hundred and eighty single-rooted extracted human teeth were divided into 3 groups according to the pulp canal status: unrestored (UR); filled with gutta-percha (GP); and restored with a metallic custom post (Post). One-half of the sample of each group was artificially fractured and segments repositioned. All teeth were scanned on a CBCT device at 0.2-mm nominal voxel resolution (iCAT Platinum). The data was exported as DICOM files and imported into Dolphin, InVivo and KDIS3D software. Cross-sectional images in the acquisition (Xoran) and additional software were presented to three calibrated oral radiologists who rated the presence or absence of root fracture on a 5-point scale. ROC analysis was performed and treatment comparisons compared by ANOVA and pairwise comparisons performed using Tukey LSD test, at an *à priori* value of $\alpha < 0.05\%$.

Results: All dental software performed equally at detecting fractures. Fractures were significantly more difficult to detect when posts are present.

Conclusion: The diagnosis of root fracture is software independent. The presence of intra-canal metallic post significantly decreases the detection of artificially created root fractures.

Keywords: Cone beam computed tomography; reconstruction software; DICOM; root fracture; diagnostic tests.

Introduction

Radiographic examinations are an essential component in all stages of endodontic therapy including diagnosis, inter-operatively and in the evaluation of the final root canal filling and monitoring or healing.¹ Cone Beam Computed Tomography (CBCT) provides practitioners with multi-planar visualization in all three dimensions through the use of dental specific software applications that have a relatively simple interface.²

After data acquisition, images are usually displayed in the proprietary software of the CBCT equipment, initially as secondary reconstructed images in three orthogonal planes (axial, sagittal, and coronal), usually at a thickness defaulted to the native resolution.³ Sometimes this software is available only on the computer directly connected to the scanner, or may require a special key for activation. However, CBCT images can be exported in the third party proprietary and also nonproprietary DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) file format standard, allowing the use of public domain image processing software.

The DICOM Standard provides a detailed specification for formatting and exchanging images and associated metadata information, so images from different digital imaging devices can be read on single software. Because it was developed for advanced image such as multi-slice CT and MRI, the sequence of primary images need to be in one of the orthogonal directions. Considering that CBCT basis images are similar to lateral and posterior-anterior “cephalometric” radiographic images,³ it is necessary to modify them before export in DICOM. For that, the proprietary software processes the images as follow: images base are compressed in a volume, which is re-segmented as primary axial reconstructions, to be compressed as a DICOM file. Currently, there are many third-party software able to process DICOM files and provide useful tools in different areas of dentistry, such as zoom, visual adjustments (grayscale, brightness and contrast), insertion of annotations and measurements, as well as 3D reconstructions.^{1,3}

The diagnostic ability of CBCT for endodontics has been proven described by many authors and is superior than analog or digital intraoral radiography for

detection of dental periapical lesions and demonstrates high sensitivity and specificity in detecting dental root resorption.⁴⁻⁷ Much research has been performed on the use of CBCT in the detection of root fractures which remains a diagnostic challenge.⁸⁻²⁰ While there is a low incidence of root fractures (approximately 0.5 to 10.1% in the permanent dentition), longitudinal fractures are increasingly common as a result of the greater longevity of patients, retention of more teeth and greater complexity of dental procedures.^{8,21,22} Previous studies related to 2D conventional analog and digital intraoral radiography might well have underestimated the incidence. Further, the materials used in dental restorative procedures, such as gutta-percha, metal posts, prosthetic crowns and restorations, can interfere with the visualization of fracture lines in CBCT images. Artifacts (e.g. streaking and beam hardening) are caused by high density materials, affecting the quality and accuracy of the images.^{8,23} If the cause of the artifact is close to or associated to the tooth to be assessed, the resulting CBCT images may have diagnostic value decreased.⁴

Despite the variability of dental viewing software, there is a dearth of information on the relative diagnostic in regards to specific tasks.²⁴ As third-party softwares use different reconstruction algorithms, it is important to assess how they behave when processing data that exhibit structures potentially causing artifacts.

The aim of this study was to assess the effect of segmentation and image reconstruction of CBCT data by four software in the diagnostic ability of observers in the detection of vertical fractures with differing root canal contents.

Methods

The study protocol was reviewed and approved by the Institutional Review Board of The Campinas University School of Dentistry at Piracicaba, São Paulo, Brazil.

One hundred and eighty, single-rooted, unrestored extracted human teeth were included in the study. The reason for extraction, age and sex of the individuals who donated the samples were unknown. To be included in the sample,

all teeth were previously inspected by transillumination for the absence of root fracture, and by conventional periapical radiographs for the absence of obliterated root canal. After disinfection with 2% glutaraldehyde, each tooth had its root canal prepared with the ProTaper rotary system (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) until size F5. The teeth were then decoronated in the cement-enamel junction to eliminate any bias of enamel fractures.^{9,12} Finally, the teeth were randomly coded and divided into 3 groups according to the pulp canal status: (1) unrestored control group with no radiopaque root canal material present [UR], (2) root canal filled with gutta-percha [GP], and (3) restored with a metallic custom post [Post].

The GP group had a passively well-fitting, non-cemented ProTaper F5 gutta-percha cone placed in the canal of the teeth. The Post group had a passively well-fitting type III gold-alloy post casted and placed in the canal of other teeth. Periapical radiographs were made to validate the gutta-percha cone and post adaptations. Finally, cones and posts were removed to produce the fracture in one-half of the sample of each group.

Vertical root fractures were induced as described by Melo et al, adapted from Monaghan et al.^{13,25} Each tooth from the experimental sample was coated with a layer of wax, approximately 2 mm thick, to protect its root surface, and the teeth were fixed in a mini-table lathe. A conical wedge with a beveled tip was driven into the tooth apically, and fractures were induced by using controlled pressure applied by gentle tapping. The fractured teeth were reinspected by transillumination to confirm the presence and morphology of the root fracture. Ten teeth were used to learn the force that was needed to break the root into 2 fragments, and were excluded from the final sample. The root fragments were placed together in their original position. The proper gutta-percha cones or cast posts were carefully reinserted in the teeth of the respective groups, with care not to displace the fragments. Because cement might flow to the fracture line, the cementation procedure was avoided.¹³ Thereafter, further periapical radiographs were taken to check the cone/post adaptation and possible fracture displacement.

Before CBCT image acquisition, each tooth was uniformly coated with a 0.3-mm layer of utility wax, to simulate the radiographic aspect of periodontal space,⁷ and placed in an empty maxillary anterior socket of a dentate dry human skull (age and sex were unknown). The skull was coated with a 5-mm-thick piece of wax to simulate the attenuation of soft tissues in the image.⁵ The CBCT images were obtained (iCAT Platinum, Imaging Sciences International, Hatfield, PA) according to the protocol recommended by the manufacturer for a 0.2-mm voxel resolution (8 cm field of view, 120 kVp, 8 mA, 40 seconds for acquisition). Images were processed, saved originally in proprietary XSTD format, and then exported in DICOM multi-file format by using the Xoran software (Xoran CAT, version 3.0.34, Xoran Technologies, Ann Arbor, MI). The resultant CBCT DICOM images were imported into Dolphin (Dolphin Imaging & Management Solutions, version 11.5, Patterson Dental Supply Inc, St. Paul, MN), KDIS3D (Kodak Dental Imaging Software 3D module, version 2.1.11, Carestream Health Inc, Rochester, NY), and InVivo (InVivoDental, version 5.0, Anatomage Inc, San Jose, CA) softwares.

The images for each tooth were reconstructed separately in all four software (Dolphin, KDIS3D, InVivo, and Xoran), and starting with the realignment of the tooth long axis parallel to the sagittal plane, the images were re-sliced orthogonally. All resulting images were displayed on a 24-inch LCD monitor (MDRC-2124, Barco Inc, Duluth, GA) with a matrix resolution of 1920 x 1200. The images were coded and shown to the observers in random order, and under dim-light conditions, in sets of 20 images. Each set was viewed separately by three observers, who performed a dynamic evaluation using all slices and the zoom tool. The observers were previously calibrated oral and maxillofacial radiologists with at least 10 years of experience in CT diagnosis. The calibration consisted of written and verbal instructions about CBCT image interpretation and the usage of the software, with examples of fractured roots in CBCT scans. The observer's evaluation was scored using a 5-point confidence rating scale, as follows: (1) fracture definitely not present; (2) fracture probably not present; (3) uncertain whether fracture is present or not; (4) fracture probably present; (5) fracture

definitely present. A total number of 2,160 data points (180 teeth x 4 softwares x 3 observes) were collected.

Intraclass correlation coefficient (ICC) was calculated to assess intra-observer and inter-observer agreement, and interpreted as follows: poor (0 – 0.20), fair (0.21 – 0.40), moderate (0.41 – 0.60), substantial (0.61 – 0.80), and almost perfect (> 0.80). The diagnostic accuracy for each software and observer was assessed by receiver operating characteristic (ROC) analysis. ROC analysis was performed by pooling observer responses for every software and condition. The A_z values were compared by 2-way repeated measures analysis of variance (ANOVA). Pair-wise comparisons of A_z values of 4 different softwares at 3 root-filling condition were performed using the Tukey LSD test. Data analyses were performed using SigmaStat for Windows (version 3.5; Systat Software Inc, Erkrath, Germany). The *à priori* level of significance was set at $p < 0.05$.

Results

Intra-observer coefficients ranged between fair to substantial agreement, while interobserver's indicated moderate agreement (Table 1).

Table 1. Intra- and interobserver ICC agreement for detection of vertical root fractures.

	Intraobserver			Interobserver
	Obs1	Obs2	Obs3	
UR	0.62	0.73	0.67	0.54
GP	0.35	0.80	0.57	0.42
Post	0.40	0.73	0.37	0.40
Overall	0.46	0.76	0.56	0.47

UR, unrestored; GP, gutta-percha; Post, intracanal post.

Figure 1 presents the final reconstructed axial images of the same tooth in each group by all four software tested.

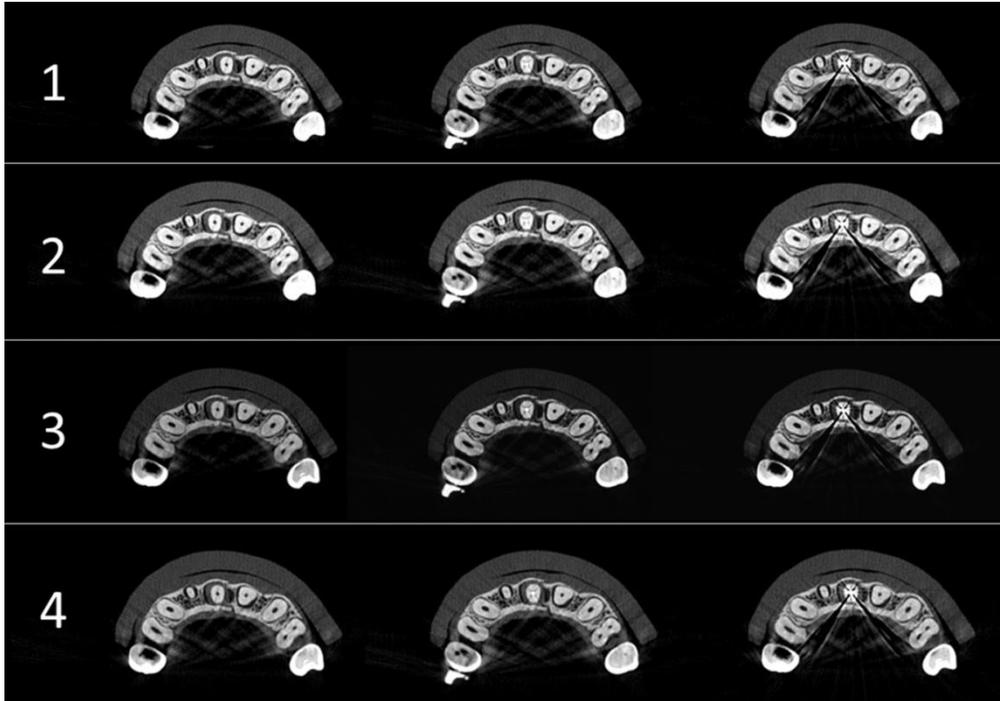


Figure 1. Final reconstructed axial images of each group (columns) by all four softwares tested: (1) Dolphin, (2) InVivo, (3) KDIS3D, and (4) Xoran. Images of the same tooth in each group are presented on the columns: (left) UR, (center) GP, and (right) Post groups.

Data from each observation of three observers were pooled together. Table 2 summarizes the results for overall sensitivity, specificity, and accuracy for the diagnosis of vertical root fractures using each software per experimental root filling group. Based on the observed means, Dolphin displayed the highest mean sensitivity for all observers combined, but still close to the sensitivity recorded for the others. Specificity of InVivo images (89%) was higher than Xoran images (87%) and KDIS3D and Dolphin (85% in both). The accuracy of all softwares was very close, 73% for three softwares (InVivo, Dolphin and Xoran), and 72% for one (KDIS3D).

Table 2. Sensitivity, specificity and accuracy of each software per experimental root filling group for diagnose of vertical root fractures.

Group	Sensitivity				Specificity				Accuracy			
	Dolphin	InVivo	KDIS3D	Xoran	Dolphin	InVivo	KDIS3D	Xoran	Dolphin	InVivo	KDIS3D	Xoran
UN	0,71 ^A	0,65 ^A	0,71 ^A	0,73 ^A	0,88	0,87	0,85	0,79	0,79 ^A	0,76 ^A	0,78 ^A	0,76 ^A
GP	0,68 ^A	0,61 ^A	0,63 ^A	0,61 ^A	0,81	0,91	0,78	0,91	0,74 ^A	0,76 ^A	0,70 ^A	0,76 ^A
Post	0,43 ^B	0,41 ^B	0,44 ^B	0,41 ^B	0,87	0,91	0,91	0,92	0,65 ^B	0,66 ^B	0,68 ^B	0,67 ^B
Overall	0,60	0,56	0,59	0,58	0,85	0,89	0,85	0,87	0,73	0,73	0,72	0,73

Means with different letters are statistically different ($p < 0.05$). UR, unrestored; GP, gutta-percha; Post, intracanal post.

Table 3 and Figure 2 show the mean areas under ROC curves for the observers in each treatment and condition. In general, there was not a statistically significant difference between softwares. The effect of different softwares did not depend on what material was present. In other words, there was not a statistically significant interaction between software and material. However, there was a statistically significant difference between materials, considering sensitivity, accuracy and area under ROC curve. Whether compared with UR or GP groups, the diagnostic accuracy was significantly lower in the Post group for any type of image. Tukey Test was used to isolate which groups differ from the others.

Table 3. The mean areas under ROC curves [A_z (sd)] of 3 observers for diagnose of vertical root fractures.

Group	Dolphin	InVivo	KDIS3D	Xoran
UN	0.83 ^A (0.04)	0.77 ^A (0.04)	0.83 ^A (0.04)	0.80 ^A (0.03)
GP	0.80 ^A (0.03)	0.85 ^A (0.03)	0.76 ^A (0.04)	0.80 ^A (0.04)
Post	0.72 ^B (0.04)	0.75 ^B (0.05)	0.71 ^B (0.05)	0.77 ^B (0.06)
Overall	0.79 (0.02)	0.79 (0.02)	0.79 (0.02)	0.78 (0.02)

Means with different letters are statistically different ($p < 0.05$). sd, Standard deviation; UR, unrestored; GP, gutta-percha; Post, intracanal post.

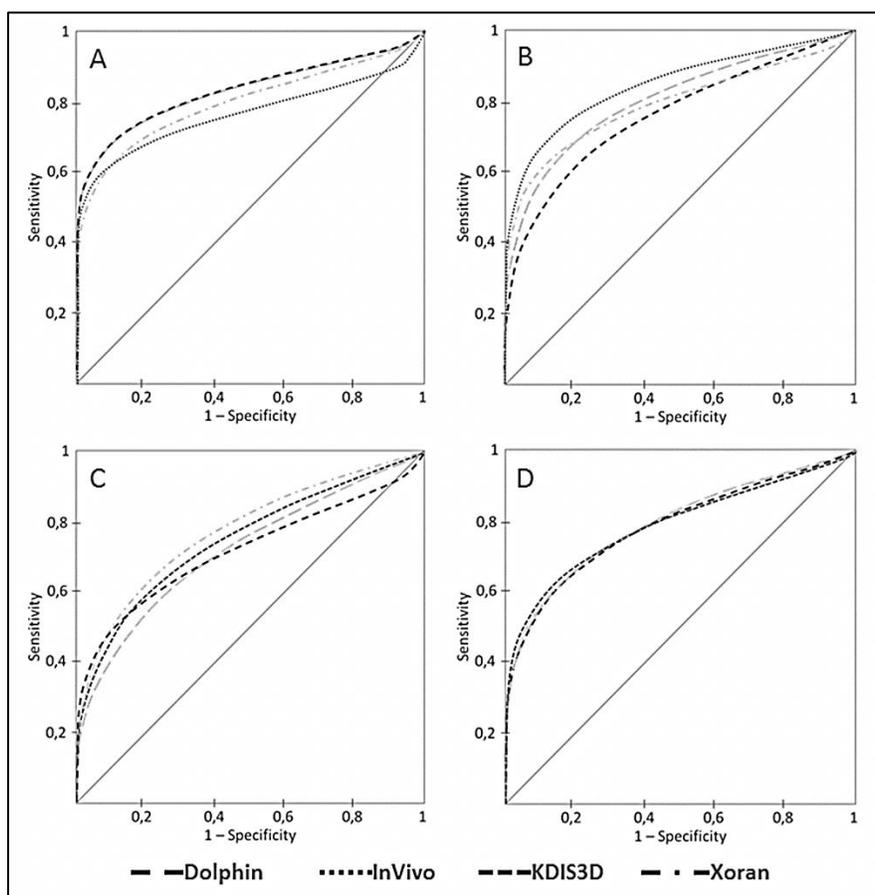


Figure 2. Receiver operating characteristic curves for all observers based on imaging software for the groups tested: (A) UR, (B) GP, (C) Post, and (D) Overall results for all groups together.

Discussion

One of the most difficult problems encountered in clinical dental practice is the diagnosis of tooth root fractures due to the limited non-specific clinical signs and symptoms, and inherent limitations of projection radiography. Numerous authors have evaluated the reliability and accuracy of CBCT images, considering different parameters, such as equipment, image resolution, and artifacts.⁸⁻²⁰ None have addressed the possible influence software reconstruction may have on diagnostic accuracy. The present study evaluated the influence of software reconstruction of CBCT images in the diagnostic ability of experimentally induced vertical root fractures.

Dental software packages and applications capable of DICOM display can be categorized into proprietary and third party commercial software. Proprietary viewers are provided by the manufacturers of CBCT equipment and act as both acquisition and viewing software. Most proprietary software is also capable of converting their proprietary data formats into an exportable DICOM file.²⁶ Commercial third-party DICOM viewers may not be directly associated with a specific hardware. There are a number of free DICOM viewers that can be downloaded from the internet which also have utility for viewing dental images.²⁷

Among the increasing number of software packages dedicated to managing and analyzing DICOM images, the present study focused on three including Dolphin, InVivo, and KDIS3D. The former two must be purchased whereas the latter is available for free. The study also investigated the proprietary manufacturer acquisition software (Xoran) used to acquire the images and display the data in native .xstd format. Our results indicate that the choice of the software does not have any influence on CBCT accuracy for the detection of simulated vertical root fractures. The reliability and accuracy of three commercially available DICOM software (Dolphin, InVivo, and OnDemand3D) for measuring upper airway volumes have also been reported.²⁴ In this task it was found that while all 3 were highly reliable in their airway volume calculations they demonstrated poor accuracy, suggesting systematic errors.²⁴

We also demonstrated that the nature of the intra-canal contents directly influences diagnostic accuracy as regards detection of vertical root fractures. While no differences were detected between unrestored and GP restored canals, the presence of metal posts reduced diagnostic performance significantly. Interestingly, specificity results had the opposite behavior. The Post group presented with the highest specificity values among all groups, but with no significant association. Many of the previous studies^{9-11,13,15-20} have found higher values for sensitivity, specificity and accuracy for root fracture diagnosis, except for specificity of fracture in teeth filled up with metal posts (Figure 3).

Results*	Group	Sensitivity	Specificity	Accuracy
Higher	UR	0,80 – 0,97 ^{9,13,15,18,19}	0,95 – 1,00 ^{9,16-19}	0,80 – 0,98 ^{16,18,19}
	GP	0,75 – 0,97 ^{9,13,18-20}	0,93 ^{9,10,13,18,19}	0,81 – 0,95 ^{11,19}
	Post	0,55 – 0,90 ^{13,17,19}	-	0,82 – 0,88 ^{16,17,19}
Similar	UR	0,65 – 0,72 ^{10,16,17}	0,75 – 0,90 ^{13,16-18}	0,75 – 0,80 ^{16,17}
	GP	-	0,87 ⁹	0,68 – 0,72 ^{11,18,20}
	Post	0,40 – 0,45 ¹⁶	0,85 – 0,90 ^{16,17}	0,60 – 0,70 ^{16,17}
Lower	UR	0,20 – 0,63 ¹⁷	0,20 – 0,60 ^{16,17}	0,35 – 0,68 ^{16,17}
	GP	-	0,56 – 0,73 ^{13,18,20}	0,62 – 0,67 ¹¹
	Post	-	0,35 – 0,80 ^{13,16,17,19}	0,38 – 0,58 ^{16,17}

Figure 3. Comparison of the present results with the ones found on literature for the CBCT diagnostic ability to assess root fractures.

UR, unrestored; GP, gutta-percha; Post, intracanal post.

*In comparison with results found on the present study.

Sensitivity and specificity are fundamental measures of the accuracy of a diagnostic test. Sensitivity describes the ability of a test to correctly diagnose the presence of disease when disease is actually present (true positive) whereas specificity describes the ability of the test to correctly rule out the presence of disease when it is truly absent (true negative). Because the root fracture prognosis is poor and extraction is often required, false-positive and/or false-negative must be avoided.¹³ Since it was found a high specificity and low sensitivity in GP and Post groups, we believe that the observers had tried to not misdiagnose the presence of fracture when artifacts were present, and scored most teeth negatively for it.

An artifact is any distortion or error in the image that is unrelated to the subject being studied. The presence of hyperdense materials (ie, gutta-percha and metal post) can lead to severe streaking artifacts. They occur because of extreme beam hardening or photon starvation due to insufficient photons reaching the detector, resulting in horizontal streaks in the image and noisy projection reconstructions. Beam hardening happens when the mean energy of the x-ray beam increases because lower energy photons are absorbed in preference to higher energy photons. Because the CBCT x-ray beam is heterochromatic and has lower mean kilovolt-peak energy compared with conventional CT, this artifact is more pronounced on CBCT images.³ Whereas the observers were not asked to report on image artifacts, it is possible that streaking artifacts simulate fracture lines and influenced their diagnostic ability.

The thickness of fractures also has a direct influence on CBCT accuracy.^{12,13} The thicker the fracture line, the higher is its detectability. In the present study, all simulated fractures were “hairline” in nature to simulate the immediate post-traumatic situation in which no edema or granulation tissue has yet displaced the fragments.^{10,12} To simulate this clinical situation, the sample was scanned in the smallest voxel size available (0.2mm) for the particular CBCT device used. This setting has been reported as being optimal for diagnosis when a root canal has a filling or a metallic post.^{13,19} Even though, the tenuous fracture line

associated with the streaking artifacts could account for the cases of false-positive and false-negative results found on the present study.

In the real-life situation, radiographic images must be correlated with clinical parameters (probing, mobility test, sensitivity during mastication, etc.) to assist in the diagnosis of dental root fractures. The current study did not attempt to provide additional information which may have biased or in fact improved detection. Further studies are required to elucidate the influence of history on CBCT diagnostic accuracy. In addition this study was limited to only four commonly available software.

In conclusion, the diagnosis of minimally displaced vertical root fracture does not depend on the software used to reconstruct the image from CBCT DICOM data. However diagnostic accuracy is significantly reduced on all software when root canals are restored with metallic posts.

Acknowledgments

We are grateful to CAPES Foundation (Brazil) for the scholarship support and to the University of Louisville School of Dentistry (KY, USA) for the technical support to the first author while he was a visiting postgraduate fellow.

References

1. Patel S, Dawood A, Ford TP, Whaites E. The potential applications of cone beam computed tomography in the management of endodontic problems. *Int Endod J* 2007; 40: 818-830.
2. Patel S. New dimensions in endodontic imaging: Part 2. Cone beam computed tomography. *Int Endod J* 2009; 42: 463-475.
3. Scarfe WC, Farman Ag. What is cone-beam CT and how does it work? *Dent Clin N Am* 2008; 52: 707-730.
4. Lofthag-Hansen S, Huuonen S, Gröndahl K, Gröndahl HG. Limited cone-beam CT and intraoral radiography for the diagnosis of periapical pathology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007; 103: 114-119.

5. Liedke GS, Silveira HED, Silveira HLD, Dutra V, Figueiredo JAP. Influence of voxel size in the diagnostic ability of cone beam tomography to evaluate simulated external root resorption. *J Endod* 2009; 35: 233-235.
6. Neves FS, Vasconcelos TV, Vaz SL, Freitas DQ, Haiter-Neto F. Evaluation of reconstructed images with different voxel sizes of acquisition in the diagnosis of simulated external root resorption using cone beam computed tomography. *Int Endod J* 2012; 45: 234-239.
7. de Azevedo Vaz SL, Vasconcelos TV, Neves FS, de Freitas DQ, Haiter-Neto F. Influence of cone-beam computed tomography enhancement filters on diagnosis of simulated external root resorption. *J Endod* 2012; 38: 305-308.
8. Mora MA, Mol A, Tyndall DA, Rivera EM. Effect of the number of basis images on the detection of longitudinal tooth fractures using local computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 2007; 36: 382-386.
9. Hassan B, Metska ME, Ozok AR, Stelt PVD, Wesselink PR. Detection of vertical root fractures in endodontically treated teeth by a cone beam computed tomography scan. *J Endod* 2009; 35: 719-722.
10. Wenzel A, Haiter Neto F, Frydenberg M, Kirkevang LL. Variable-resolution cone-beam computerized tomography with enhancement filtration compared with intraoral photostimulable phosphor radiography in detection of transverse root fractures in an in vitro model. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009; 108: 939-945.
11. Hassan B, Metska ME, Ozok AR, Stelt PVD, Wesselink PR. Comparison of five cone beam computed tomography systems for the detection of vertical root fractures. *J Endod* 2010; 36: 126-129.
12. Özer SY. Detection of vertical root fractures of different thicknesses in endodontically enlarged teeth by cone beam computed tomography versus digital radiography. *J Endod* 2010; 36: 1245-1249.
13. Melo SL, Bortoluzzi EA, Abreu M Jr, Corrêa LR, Corrêa M. Diagnostic ability of a cone-beam computed tomography scan to assess longitudinal root fractures in prosthetically treated teeth. *J Endod*. 2010; 36: 1879-1882.

14. Varshosaz M, Tavakoli MA, Mostafavi M, Baghban AA. Comparison of conventional radiography with cone beam computed tomography for detection of vertical root fractures: an in vitro study. *J Oral Sci* 2010; 52: 593-597.
15. Özer SY. Detection of vertical root fractures by using cone beam computed tomography with variable voxel sizes in an in vitro model. *J Endod* 2011; 37: 75-79.
16. Costa FF, Gaia BF, Umetsubo OS, Cavalcanti MGP. Detection of horizontal root fracture with small-volume cone-beam computed tomography in the presence and absence of intracanal metallic post. *J Endod* 2011; 37: 1456-1459.
17. Costa FF, Gaia BF, Umetsubo OS, Pinheiro LR, Tortamano IP, Cavalcanti MGP. Use of large-volume cone-beam computed tomography in identification and localization of horizontal root fracture in the presence and absence of intracanal metallic post. *J Endod* 2012; 38: 856-859.
18. Khedmat S, Rouhi N, Drage N, Shokouhinejad N, Nekoofar MH. Evaluation of three imaging techniques for the detection of vertical root fractures in the absence and presence of gutta-percha root fillings. *Int Endod J* 2012; 45: 1004-1009.
19. da Silveira PF, Vizzotto MB, Liedke GS, da Silveira HLD, Montagner F, da Silveira HED. Detection of vertical root fractures by conventional radiographic examination and cone beam computed tomography – an in vitro analysis. *Dent Traumatol* (in press).
20. Metska ME, Aartman IHA, Wesselink PR, Özok AR. Detection of vertical root fractures in vivo in endodontically treated teeth by cone-beam computed tomography scans. *J Endod* 2012; 38: 1344-1347.
21. Andreasen JO. Etiology and pathogenesis of traumatic dental injuries. A clinical study of 11.298 cases. *Scant J Dent Res* 1970; 78: 329-342.
22. Matsuda K, Ikebe K, Enoki K, Tada S, Fujiwara K, Maeda Y. Incidence and association of root fractures after prosthetic treatment. *J Prosthodont Res* 2011; 55: 137-140.

23. Sogur E, Baks BG, Grondahl HG. Imaging of root canal fillings: a comparison of subjective image quality between limited cone-beam CT, storage phosphor and film radiography. *Int Endod J* 2007; 40: 179-185.
24. El H, Palomo JM. Measuring the airway in 3 dimensions: A reliability and accuracy study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 137: S50.e1-S50.e9.
25. Monaghan P, Bajalcaliev JG, Kaminski EJ, Lautenschlager EP. A method for producing experimental simple vertical root fractures in dog teeth. *J Endod* 1993; 19: 512-515.
26. Grauer D, Cevitanes LSH, Proffit WR. Working with DICOM craniofacial images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 136: 460-470.
27. Graham RNJ, Perriss RW, Scarsbrook AF. DICOM demystified: A review of digital file formats and their use in radiological practice. *Clin Radiol* 2005; 60: 1133-1140.

CONCLUSÃO

De acordo com a metodologia empregada, concluiu-se que o diagnóstico de fratura radicular vertical por meio de TCFC não é influenciado pelo software, podendo o profissional utilizar o de sua preferência. Todavia, independentemente do software utilizado, a presença de núcleo metálico diminui a possibilidade de um diagnóstico correto.

REFERÊNCIAS

American Association of Endodontists. Endodontics: Colleagues for Excellence - Cracking the Cracked Tooth Code: Detection and Treatment of Various Longitudinal Tooth Fractures. American Association of Endodontists. 2008.

Bernardes RA, Moraes IG, Duarte MAH, Azevedo BC, Azevedo JR, Bramante CM. Use of cone-beam volumetric tomography in the diagnosis of root fractures. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2009;108:270-7.

Chan CP, Lin CP, Tseng SC, Jeng JH. Vertical root fracture in endodontically versus nonendodontically treated teeth. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1999;87:504-7.

Chau ACM, Fung K. Comparison of radiation dose for implant imaging using conventional spiral tomography, computed tomography, and cone-beam computed tomography. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2009;107:559-65.

Cohen S, Blanco L, Berman L. Vertical root fractures: clinical and radiographic diagnosis. J Am Dent Assoc 2003;134:434-41.

Estrela C, Bueno MR, De Alencar AH, Mattar R, Valladares Neto J, Azevedo BC, *et al.* Method to evaluate inflammatory root resorption by using cone beam computed tomography. J Endod 2009;35:1491-7.

Estrela C, Bueno MR, Leles CR, Azevedo B, Azevedo JR. Accuracy of cone beam computed tomography and panoramic and periapical radiography for detection of apical periodontitis. J Endod 2008;34(3):273-9.

* De acordo com a norma da UNICAMP/FOP, baseadas na norma do International Committee of Medical Journal Editors – Grupo de Vancouver. Abreviatura dos periódicos em conformidade com o Medline.

Flores MT, Andersson L, Andreasen JO, Bakland LK, Malmgren B, Barnett F et al. Guidelines for the management of traumatic dental injuries. I Fractures and luxations of permanent teeth. *Dent Traumatol* 2007;23:66–71.

Fuss Z, Lustig J, Tamse A. Prevalence of vertical root fractures in extracted endodontically treated teeth. *Int Endod J* 1999;32:283-6.

Hanning C, Dullin C, Hülsmann M, Heidrich G. Three-dimensional, non-destructive visualization of vertical root fractures using flat panel volume detector computer tomography – an ex vivo in vitro case report. *Int Endod J* 2005;38:904-13.

Kamburoglu K, Cebeci ARI, Gröndahl HG. Effectiveness of limited cone-beam computed tomography in the detection of horizontal root fracture. *Dent Traumatol* 2009;25:256-61.

Kositbowornchai S, Nuansakul R, Sikram S, Sinahawattana S, Saengmontri S. Root fracture detection: a comparison of direct digital radiography with conventional radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 2001;30:106-109.

Mora MA, Mol A, Tyndall DA, Rivera EM. In vitro assessment of local computed tomography for the detection of longitudinal tooth fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007;103:825-9.

Nair MK, Nair UDP, Gröndahl HG, Webber RL, Wallace JA. Detection of artificially induced vertical radicular fractures using tuned aperture computed tomography. *Eur J Oral Sci* 2001;109:375-9.

Nair, M. K.; Nair, U. P.; Gröndahl, H. G.; Webber, R. L. Accuracy of tuned aperture computed tomography in the diagnosis of radicular fractures in non-restored

maxillary anterior teeth – an in vitro study. *Dentomaxillofac Radiol* 2002;31:299-304.

Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc* 2006;72:75-80.

Tamse A, Kaffe I, Lustig J, Ganor Y, Fuss Z. Radiographic features of vertically fracture endodontically treated mesial roots of mandibular molars. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006;101:797-802.

Tsesis I, Kamburoglu K, Katz A, Tamse A, Kaffe I, Kfir A. Comparison of digital with conventional radiography in detection of vertical root fractures in endodontically treated maxillary premolars: an ex vivo study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;106(1):124-8.

Wenzel A, Gröndahl H. Direct digital radiography in the dental office. *Int Dent J* 1995;45:27-34.

Yeh CJ. Fatigue root fracture: a spontaneous root fracture in non-endodontically treated teeth. *Br Dent J* 1997;182:261-6.

Youssefzadeh S, Gahleitner A, Dorffner R, Bernhart T, Kainberger FM. Dental vertical root fractures: value of CT in detection. *Radiology* 1999;10:545-49.

APÊNDICE – METODOLOGIA DETALHADA

A metodologia dessa pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Odontologia, da Universidade Estadual de Campinas, sob protocolo de número 120/2012 (Anexo 2).

1 Delineamento do estudo

O estudo realizado foi uma pesquisa experimental, do tipo analítica e transversal, apresentando como padrão-ouro para o diagnóstico de fratura o método de visualização direta por transluminação. (Hochman *et al.*, 2005).

2 Plano amostral

2.1 Caracterização da amostra

Este estudo foi desenvolvido utilizando 180 dentes unirradiculares humanos extraídos, com a amostra dividida em 3 grupos de 60 dentes, de acordo com a presença ou não de material dentro do canal radicular, assim distribuídos:

Grupo NP – nenhum material presente no canal radicular;

Grupo GP – canal radicular preenchido com guta-percha;

Grupo NM – canal radicular parcialmente preenchido com núcleo metálico.

2.2 Critérios de exclusão

Para a exclusão dos dentes no estudo, foram considerados os seguintes critérios:

(a) Alterações radiculares (reabsorção radicular, erosão, abrasão, abfração ou cárie);

(b) Anomalias radiculares de forma e número;

(c) Conduto radicular obliterado;

(d) Multiplicidade de canais;

(e) Trincas e/ou fraturas radiculares pré-existent;

(f) Tratamento endodôntico prévio.

3 Variáveis em estudo

3.1 Variáveis dependentes

(a) Presença ou ausência de fratura radicular nos dentes avaliados por meio da tomografia computadorizada de feixe cônico.

3.2 Variáveis independentes

- (a) Dentes com ou sem cone de guta-percha;
- (b) Dentes com ou sem núcleo metálico fundido;
- (c) *Software* utilizado.

4 Método

4.1 Seleção e preparo dos dentes

Os dentes utilizados foram extraídos por finalidade terapêutica, de pacientes atendidos em Unidades Básicas de Saúde do município de Aracaju/SE, após a assinatura do termo de doação.

Esses dentes foram armazenados em recipiente contendo solução antifúngica de cloreto de sódio com timol (0.1%), após esterilização em autoclave (a 121°C, por 15 minutos, sob efeito de 1.5 atm de pressão). Toda a amostra foi mantida hidratada, exceto durante a execução das etapas do estudo.

Todos os dentes foram raspados com o auxílio de uma cureta periodontal universal, objetivando a remoção de qualquer indício que pudesse auxiliar na identificação radiográfica dos elementos selecionados. A seguir, os dentes foram seccionados com discos de carborundum montados em micromotor de baixa rotação e peça reta (INTRAmatic, Kavo do Brasil, Santa Catarina, Brasil), sob refrigeração, na junção amelocementária de forma perpendicular ao longo eixo dentário para eliminação da coroa. Tal procedimento também teve como objetivo dificultar a identificação das unidades amostrais.

Foram realizadas radiografias periapicais dos dentes pré-selecionados, nos sentidos vestibular-lingual e méσιο-distal, para visualização do canal radicular. Caso houvesse obliteração do canal ou outra condição citada nos critérios de exclusão, esse elemento era excluído da amostra. Para avaliação radiográfica, foi utilizado um aparelho de radiografia intra-bucal (Spectro II, Dabi-Atlante, São Paulo, Brasil) e películas periapicais tipo 2 (Kodak Insight, Carestream Health Inc, New York, EUA), que foram processadas automaticamente (Revell, Xtec Ltda, São Paulo, Brasil) e analisadas em negatoscópio de luz transmitida, em ambiente de baixa luminosidade, com auxílio de máscaras e lupa com aumento de 4 vezes.

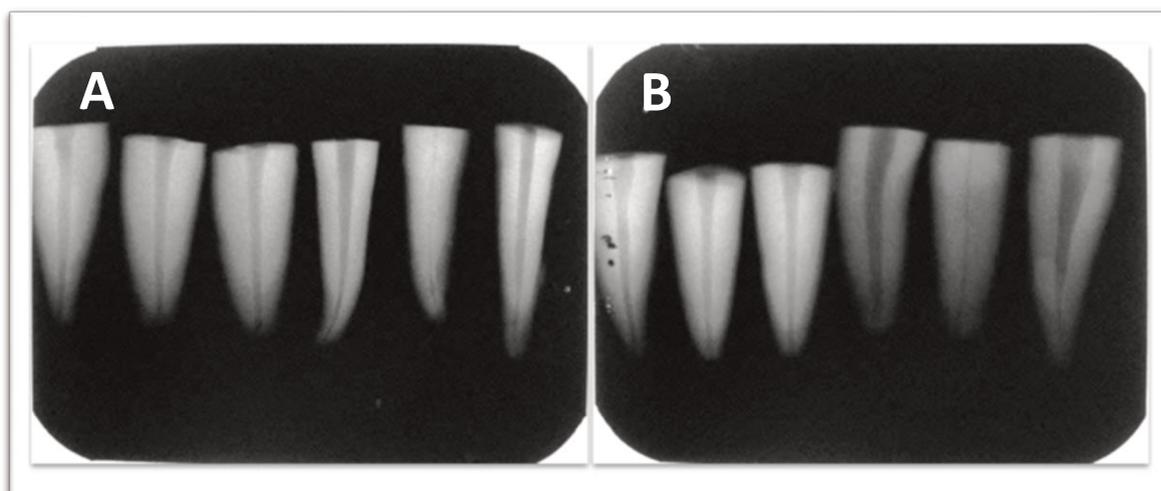


Figura 1 – Radiografias periapicais de dentes, após eliminação das coroas dentárias e antes de serem incluídos na amostra, para visualização da morfologia do canal radicular. (A) Sentido vestibular-lingual; (B) Sentido mesial-distal.

O canal radicular de todos os dentes incluídos na amostra foi modelado com o objetivo de padronizar o formato do canal e permitir a indução da fratura pelo método descrito posteriormente (Seção 4.5). Para a instrumentação do canal radicular, utilizou-se limas do sistema rotatório Protaper (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça), sob irrigação com solução de hipoclorito de sódio a 1% (Biodinâmica Química e Farmacêutica Ltda, Paraná, Brasil) com uma seringa descartável de 10mL e agulha hipodérmica (25x4 sem bisel). A secagem dos condutos realizada com cones de papel absorvente. Os canais radiculares foram

modelados, de modo que seu limite ficasse 1mm aquém do ápice radicular, seguindo a seqüência do kit Protaper (do instrumento *shaping file* SX ao F5).

Por fim, os dentes, selecionados aleatoriamente, receberam uma numeração de três dígitos (000 a 180). Esta numeração foi marcada no terço cervical radicular, face vestibular, com auxílio de uma caneta nanquim 0.5mm.

4.2 Cone de guta-percha

O sistema rotatório utilizado para a modelagem dos canais fornece ao canal um formato cônico que permite a adaptação de um cone único, com conicidade e diâmetro semelhante ao último instrumento utilizado, e que preenche por completo todo o canal. Os dentes do grupo GUTA tiveram o canal radicular preenchido com um cone de guta-percha do sistema Protaper nº F5.

Radiografias foram obtidas para avaliação da adaptação dos cones de guta-percha no canal radicular.

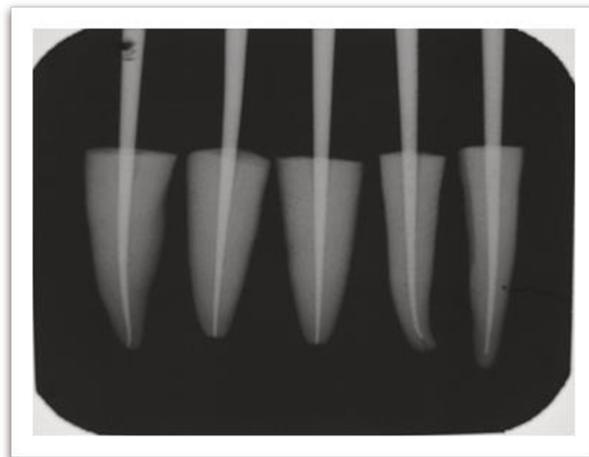


Figura 2 – Radiografia periapical de 5 elementos amostrais, para visualização da adaptação do cone de guta-percha.

4.3 Preparo do núcleo metálico

Para confecção dos núcleos metálicos fundidos, pinos pré-fabricados de resina acrílica (Pin-Jet, Angelus, Paraná, Brasil) foram selecionados e adaptados nos respectivos canais.

A modelagem do canal com resina acrílica (Duralay, Polidental Indústria e Comércio Ltda, São Paulo, Brasil) foi realizada a partir de uma adaptação da técnica para confecção de núcleos de Pegoraro *et al.* (2002). Inicialmente o canal radicular foi lubrificado com vaselina. Com auxílio de um pincel, a resina foi introduzida no interior do canal, envolvendo o pino pré-fabricado e preenchendo dois terços do comprimento do canal. Durante a polimerização da resina, o pino pré-fabricado era removido e introduzido várias vezes no canal radicular, para evitar sua retenção. Por fim, o núcleo preparado foi enviado para um laboratório especializado em prótese dentária, para fundição com liga de ouro tipo III (Degulor C, Degudent-Dentsply, Frankfurt, Alemanha).

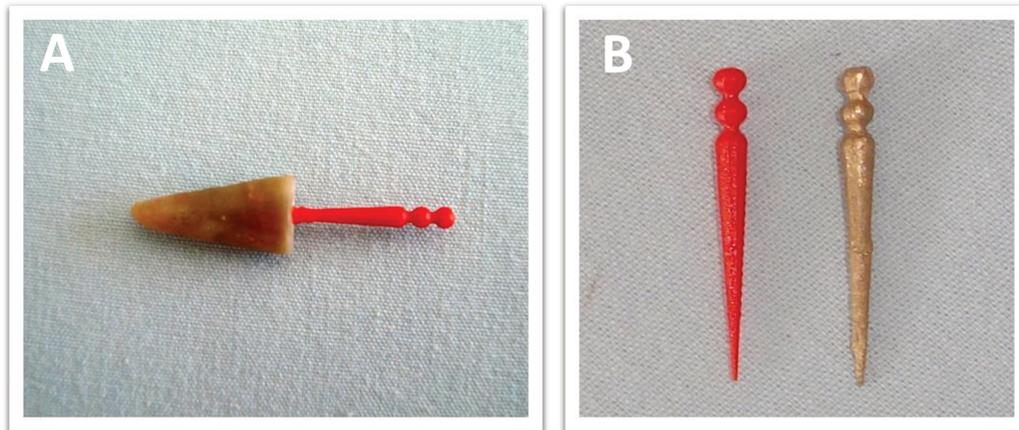


Figura 3 – Confecção de núcleo metálico fundido. (A) Modelagem do pino pré-fabricado de resina; (B) Pino modelado (esquerdo) e núcleo metálico correspondente (direito).

4.4 Indução de fratura radicular longitudinal

Metade da amostra de cada grupo foi selecionada para indução de fratura radicular longitudinal. Os materiais de preenchimento do canal dos grupos GUTA e NÚCLEO foram removidos para facilitar a indução da fratura.

Cada raiz selecionada foi revestida por uma camada de cera rosa 7 de 2mm, fixada em um torno de bancada Motomil nº 3 (Garthen Indústria e Comércio de Máquinas, Santa Catarina, Brasil) e a fratura radicular induzida segundo descrito por Monaghan *et al.* (1993, modificado por Melo *et al.*, 2010), onde uma cunha metálica cônica com ponta biselada era introduzida no sentido apical no canal radicular até encontrar resistência, induzindo a fratura. O procedimento foi considerado bem sucedido quando havia separação dos fragmentos fraturados, sem haver perda de tecido dentário, e o traço de fratura era no sentido longitudinal.

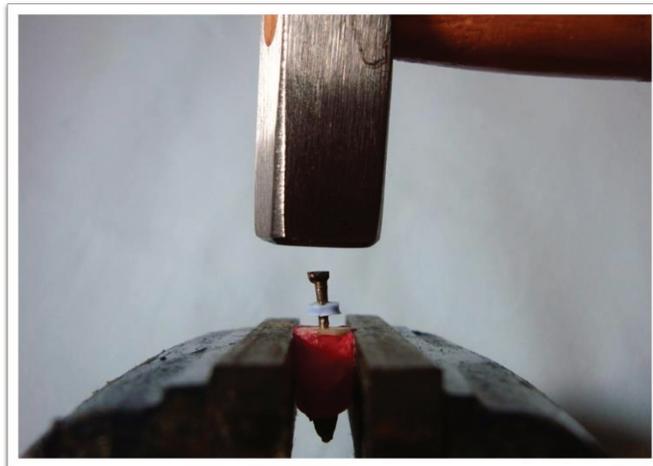


Figura 4 – Indução da fratura. Observar raiz envolta em cera e fixada no torno de bancada, cunha metálica posicionada no canal radicular e uso de martelo para introduzir a cunha apicalmente no interior do canal.

A seguir, os fragmentos foram cuidadosamente reposicionados, para simular uma situação imediatamente após o trauma onde não houve tempo suficiente para que o edema ou tecido de granulação se posicionasse entre os

fragmentos (Wenzel et al., 2009; Ozer, 2010). O cone de guta-percha ou núcleo metálico foi reinserido nas raízes correspondentes, tomando-se o cuidado de não separar os fragmentos. Ressalta-se a não utilização de cimento endodôntico em nenhum momento, pois o mesmo poderia escoar para a linha de fratura, realçando-a na imagem tomográfica. Por fim, novas radiografias periapicais foram obtidas com o intuito de averiguar a adaptação do material de preenchimento radicular e possíveis deslocamentos dos fragmentos fraturados.

4.5 Confirmação da presença/ausência de fratura

A presença de linhas de fratura foi avaliada visualmente por um único observador, com o auxílio de um aparelho de diodo emissor de luz (LED) Elipar Freelight 2 (3M ESPE, Minnesota, EUA), em ambiente de baixa luminosidade. Os dentes sem fratura foram confirmados do mesmo modo.

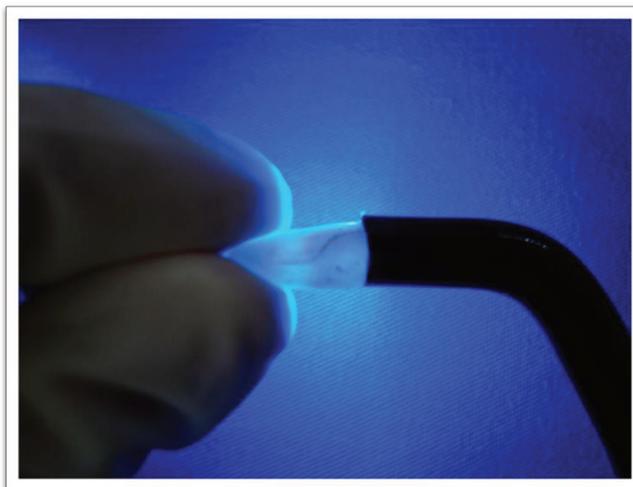


Figura 5 – Confirmação do traço de fratura por meio de transluminação.

4.6 Fixação dos dentes

Antes da obtenção das imagens tomográficas, cada elemento amostral foi colocado na maxila dentada de um crânio humano macerado, onde apenas o

incisivo central superior esquerdo estava ausente. As raízes estudadas foram sustentadas no alvéolo por uma fina camada de cera rosa 7, assim como o crânio, que foi recoberto com uma camada de 5 milímetros de espessura do mesmo tipo de cera.

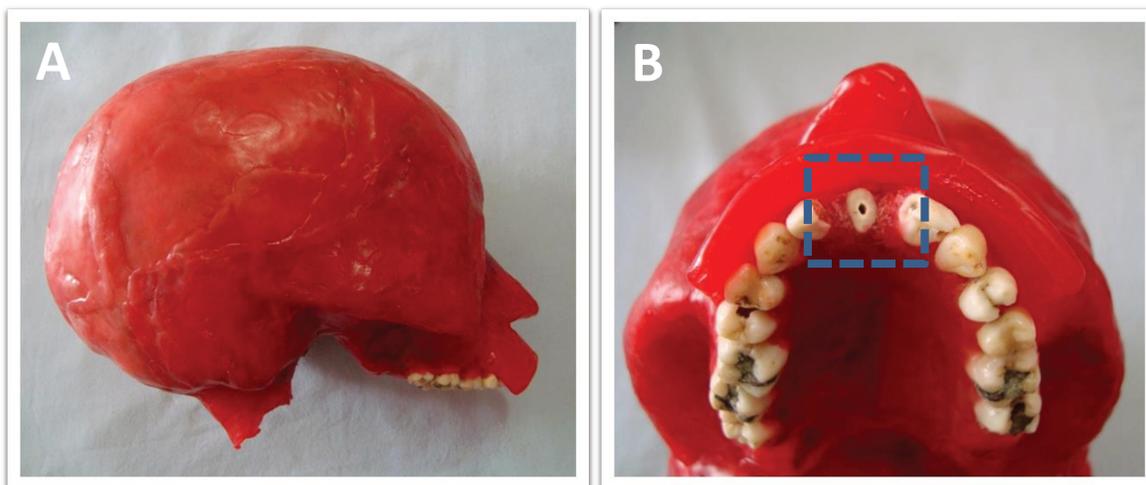


Figura 6 – (A) Vista lateral do crânio humano macerado, recoberto por cera rosa 7. (B) Vista oclusal com destaque para o elemento amostral adaptado no alvéolo do incisivo central.

4.7 Aquisição das imagens

As imagens tomográficas foram adquiridas no aparelho i-CAT (Imaging Sciences International, Pennsylvania, EUA), com 120kV e 8 mA. As imagens base foram obtidas de acordo as recomendações do fabricante, seguindo o protocolo de escaneamento da maxila para o *voxel* de 0.2mm (FOV de 8cm e 40s de tempo de aquisição), e processadas utilizando o *software* original do aparelho (Xoran CAT, version 3.0.34, Xoran Technologies, Michigan, EUA).

4.8 Preparo das imagens

As imagens originais, salvas em *.xstd* (extensão de arquivo própria do aparelho), foram segmentadas e reformatadas em arquivos DICOM com o auxílio do Xoran CAT e inseridas em um computador com a versão mais recente dos seguintes *softwares* com plataforma DICOM: Dolphin (Dolphin Imaging &

Management Solutions, versão 11.5, Patterson Dental Supply Inc, Minnesota, EUA), KDIS3D (Kodak Dental Imaging Software 3D module, versão 2.1.11, Carestream Health Inc, New York, EUA) e InVivo (InVivoDental, versão 5.0, Anatomage Inc, Califórnia, EUA). Os arquivos DICOM foram reconstruídos nos planos ortogonais (axial, sagital e coronal) e analisados nos três *softwares*, em momentos distintos, de acordo com as recomendações de cada fabricante. As imagens originais também foram reconstruídas e avaliadas utilizando o Xoran CAT (*software* original do tomógrafo).

4.9 Avaliação das imagens

As avaliações foram realizadas por três cirurgiões-dentista, radiologistas, com experiência em diagnóstico por tomografia computadorizada de feixe cônico e previamente calibrados. A calibração foi realizada para cada *software* e consistiu na instrução oral e por escrito sobre o manuseio do *software*, além da demonstração de casos onde era possível a visualização ou não de fratura radicular.

As raízes pertencentes à amostra foram avaliadas em grupos de 20 por sessão, para evitar que os examinadores comprometessem as análises em virtude de uma fadiga visual. No total, foram 9 sessões de avaliação para cada *software*. O intervalo entre a última sessão de avaliação com um *software* e a primeira avaliação com o *software* seguinte foi de duas semanas. Durante esse período, os avaliadores foram instruídos sobre o manuseio do próximo *software* a ser utilizado e foram realizadas novas sessões de calibração.

As imagens foram avaliadas aleatoriamente utilizando um monitor LCD de 24 polegadas (MDRC-2124, Barco Inc, Duluth, GA), com resolução efetiva de 1920X1200; e um *software* por vez, instalados no mesmo computador, padronizando as condições de luminosidade do ambiente. Os observadores eram instruídos a alinhar os três planos de forma que a raiz tivesse seu longo eixo perpendicular ao plano axial e paralelo ao plano sagital. Além disso, não foi

determinado um limite de tempo para a avaliação e estava autorizado o uso das ferramentas de ajuste de brilho, contraste e/ou ampliação.

As avaliações foram registradas pelos observadores em ficha-padrão, utilizando uma escala de 5 pontos: (1) fratura definitivamente ausente; (2) fratura provavelmente ausente; (3) incerteza; (4) fratura provavelmente presente; (5) fratura definitivamente presente. Ao final, foram coletadas 2160 respostas (180 dentes x 4 *softwares* x 3 observadores).

5 Análise Estatística

As concordâncias intra-observador e inter-observador foram calculadas a partir do Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC – *Intraclass Correlation Coefficient*) (Fleiss e Cohen, 1973).

A capacidade de diagnóstico para cada software e observador foi avaliada individualmente e, posteriormente, agrupada por software. Inicialmente, calculou-se a sensibilidade e a especificidade, medidas fundamentais da precisão de um teste de diagnóstico. A sensibilidade descreve a capacidade de um teste em diagnosticar positivamente quando a doença está presente (verdadeiros positivos [TP]), enquanto que a especificidade descreve a capacidade do teste em diagnosticar negativamente quando a doença é verdadeiramente ausente (verdadeiro negativo [TN]). Uma forma mais eficiente de demonstrar a relação normalmente antagônica entre a sensibilidade e a especificidade dos exames que apresentam resultados contínuos são as Curvas de Características de Operação do Receptor (Curvas ROC - *Receiver Operating Characteristic*). Uma curva ROC descreve o equilíbrio entre TP e TN ao longo de uma decisão, onde a área sob a curva representa uma medida do desempenho de um teste (índice de exatidão do teste). Um valor de Az de 0,5 representa aleatoriedade e de 1,0 precisão perfeita.

A sensibilidade, especificidade e acurácia foram calculadas para todos os dentes em conjunto e, em seguida, para cada grupo pesquisado. A partir dos valores encontrados, foram construídas curvas ROC para avaliar a relação entre sensibilidade e especificidade (área sob a curva ROC). A influência do material

intra canal (canal não preenchido, guta-percha ou núcleo metálico) e do *software* utilizado foi verificada através de um modelo de análise de variância (ANOVA). Além disso, comparações pareadas da área sob a curva ROC dos quatro softwares nas três condições de preenchimento do canal foram realizadas por meio do teste de *Tukey*. Para a análise dos dados, utilizou-se o programa SigmaStat for Windows (Versão 3.5; Systat Software Inc, Erkrath, Alemanha), considerando-se um nível de significância de 5%.

6 Referências

1. Fernandes AS, Dessai GS. Factors affecting the fracture resistance of post-core reconstructed teeth: a review. *Int J Prosthodont* 2001;14:355-63.
2. Fleiss JL, Cohen J. Equivalence of weighted kappa and the intraclass correlation coefficient as measures of reliability. *Educ Psychol Meas* 1973;33:613-9.
3. Fletcher RH, Fletcher SW. *Epidemiologia clínica – elementos essenciais*. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2006.
4. Hochman B, Nahas FX, Filho RSO, Ferreira LM. *Desenhos de pesquisa*. *Acta Cir Bras* 2005;20:2-9.
5. Pegoraro LF, *et al*. *Prótese fixa*. São Paulo: Artes Médicas; 2002.

ANEXO 1 – Normas utilizadas na formatação do artigo



Instructions for Authors

Manuscript Submissions:
<http://www.editorialmanager.com/dmfr>
Journal Homepage:
<http://dmfr.birjournals.org>

AIMS and COVERAGE

Dentomaxillofacial Radiology (DMFR) is the journal of the International Association of Dentomaxillofacial Radiology (<http://www.iadmfr.org>). DMFR publishes original research papers, review articles, systematic reviews, short communications and technical reports, covering both the clinical and experimental aspects of oral and maxillofacial imaging.

Editorial policy

The Editor reserves the right to make changes that may clarify or condense papers where this is considered desirable.

Submission

Please submit manuscripts online at <http://www.editorialmanager.com/dmfr/>. Online submission will expedite the peer review process. You will also be able to check the status of your submission online. Each paper is allocated a reference number, which should be quoted in any communication with DMFR in connection with that paper.

On the 19th October 2012 DMFR moved to a Licence to Publish. Any authors submitting manuscripts (first draft or subsequent revised drafts) on or after this date will be prompted to read and agree to abide by the terms and conditions of the British Institute of Radiology's Licence to Publish, and their manuscript, if published, will be bound by these terms. See <http://www.birjournals.org/site/policy/licence.xhtml>

Authors of articles where the final version was submitted before this date will be asked to transfer copyright to the publisher, The British Institute of Radiology. It is the corresponding author's responsibility to obtain the signatures of all authors and ensure that all authors approve the final version of the article. Corresponding authors may sign the copyright agreement on behalf of all authors, but must receive their prior written permission. It is also the author's responsibility to obtain permission to include any previously published material.

Submission of a paper is intended to imply that it presents original unpublished work, either in all or in part, including the illustrations, that it is not under consideration for publication elsewhere; and that the final version has been read and approved by all the authors. All correspondence requiring signatures must be sent by regular mail, not electronically, and should include the telephone, fax number and e-mail address of the corresponding author.

Teeth should be designated in the text using the full English terminology. In tables and figures individual teeth can be identified using the FDI two-digit system, i.e. tooth 13 is the first permanent canine in the right maxilla region.

Conflicts of interest

Authors have to declare any potential conflicts of interest such as funding of the study, funders role in study design, data collection and analysis or preparation of the manuscript.

Peer-review process

Authors should be aware that manuscripts may be returned without external review when the Editor deems that the paper is of insufficient general interest for the broad readership of the DMFR, or that the scientific quality is such that it is unlikely to receive favourable reviews. Editorial rejection is done to speed up the editorial process and to allow the authors' papers to be promptly submitted and reviewed elsewhere.

All submitted manuscripts deemed to be of interest to DMFR will undergo peer-review. Each manuscript is normally allocated to two reviewers. Reviewers receive manuscripts with blind title pages to ensure an unbiased review.

Reviewers are asked to provide detailed constructive criticism for transmission to the authors. DMFR requests that reviewers return their reports within 3 weeks of agreeing to review a paper. All efforts are taken to provide fair and thorough reviews as speedily as possible.

Having appraised the reviewers' reports, the Editor will make a final decision on each manuscript.

Categories of decision

- Accept
- Probable acceptance following minor revision
- Possible acceptance following major revision
- Reject

When revisions are requested, all points raised by the reviewers must be answered by the authors on a separate sheet. This itemized list of revisions must be uploaded separately with the revised manuscript. However, if the authors disagree with specific reviewers' recommendations, authors are free to explain their reasoning when resubmitting their paper.

Preparation of manuscripts

Authors are urged to write as concisely as possible. Papers should conform to the Uniform Requirements for Manuscripts

Submitted to Biomedical Journals (Fifth Edition JAMA 1997; 277: 927-934).

To expedite publication and accuracy, authors are required to submit their manuscripts in an electronic form as a formatted text document, e.g. Microsoft Word or RTF (rich text format). Any illustrations (including radiographs) should also be submitted in an electronic form. Paper manuscripts will not be accepted.

FORMAT

1. Title pages

You will need to prepare two (2) title pages. One will be a 'blind' title page which will bear the title of the paper only. This title page will be used to ensure anonymity in the peer review process. This will be the first page of your uploaded manuscript. The second or 'full' title page should bear the title of the paper, the full names of the authors and their affiliations, together with the name, full postal address, telephone and fax number and e-mail address of the author to whom correspondence and reprint requests are to be sent. There should be a running title of not more than 25 letters and spaces. This full title page is uploaded a separate submission item.

2. Abstract

This should not exceed 250 words and should be constructed under the following subheadings: Objectives; Methods; Results; Conclusions. These subheadings should appear in the text of the abstract. Beneath the abstract please select up to 4 keywords from the current Medical Subject Headings (MeSH) found at <http://www.nlm.nih.gov/mesh/MBrowser.html>.

3. Introduction

This should assume that the reader is knowledgeable in the field and should therefore be as brief as possible. Generally three paragraphs only are needed. The first paragraph provides an overview of the subject area with approximately 10 references maximum. (Unless the paper is a review of a topic, authors should avoid an unnecessary review of the literature, as the paper will be returned for reduction of the text.) The second paragraph should describe what is not known about the area of interest or a specific problem of clinical/scientific interest. The third paragraph briefly states the aims of the paper. Please do not use footnotes in any section of the text portion of the manuscript.

4. Materials and methods

Methods that have been published in detail elsewhere should not be described in detail. SI units should be used throughout the text (Grays, Sieverts not RADs and REMs). Any equipment or software mentioned should specify the product/model number, the manufacturer and their location (city, state and country). An appendix may be used for mathematical formulae or method details of interest to readers with specialist knowledge of the area.

5. Informed consent/Ethical Approval

Manuscripts reporting the results of experimental studies on human subjects must include a statement in the Materials and Methods section that informed consent and ethical approval

has been obtained. The number of the ethical approval as obtained from the approval board/institution has to be provided, preferably in the text of the manuscript.

6. Results

These should be presented succinctly in the same order as the experiments are described in the Materials and Methods. Tables and especially graphics are encouraged for quantitative information. Do not discuss the results in this section.

7. Discussion

This should comment critically on the findings from the results obtained, their relationship to existing knowledge and their significance for improved understanding of oral and maxillofacial radiology. Speculation and new hypotheses are encouraged, provided they are firmly rooted in the data presented. The last paragraph of the discussion should begin "In conclusion," and then the conclusions should be drawn. There is no separate conclusions heading or section.

8. Acknowledgments

These should be brief and should indicate any potential conflicts of interest and sources of financial support.

9. References

Authors are responsible for the accuracy of the references cited. Only papers closely related to the authors' work should be quoted. Exhaustive lists should be avoided. References should follow the Vancouver format. In the text they should appear in numerical order as superscript numbers starting at 1. The superscript numbers are placed AFTER the full point. At the end of the paper they should be listed (double-spaced) in numerical order corresponding to the order of citation in the text. A reference cited in a table or figure caption counts as being cited where the table or figure is first mentioned in the text. If there are 6 or fewer authors, list them all; if there are 7 or more, list the first 6 followed by et al. Abbreviations for titles of medical periodicals should conform to those used in the latest edition of Index Medicus. The first and last page numbers for each reference should be provided. Abstracts and letters must be identified as such. Papers in press may be included in the list of references. Papers submitted for publication and papers presented at meetings should NOT be included as references; nor should abstracts of papers presented at meetings not in the public domain. These should be cited as a personal communication in the text.

Examples of references

Journal article:

Gardner DG, Kessler HP, Morency R, Schaffner DL. The glandular odontogenic cyst: an apparent entity. *J Oral Pathol* 1988; 17: 359- 366.

Journal article, in press:

Dufoo S, Maupome G, Diez-de-Bonilla J. Caries experience in a selected patient population in Mexico City. *Community Dent Oral Epidemiol* (in press).

Complete book:

Kramer IRH, Pindborg JJ, Shear M. Histological typing of odontogenic tumours (2nd edn). Berlin: Springer Verlag, 1992.
Chapter in book:
DelBalso AM, Ellis GE, Hartman KS, Langlais RP. Diagnostic imaging of the salivary glands and periglandular regions. In: DelBalso AM (ed). Maxillofacial imaging. Philadelphia, PA: WB Saunders, 1990, pp 409–510.

Abstract:

Mileman PA, Espelid I. Radiographic treatment decisions - a comparison between Dutch and Norwegian practitioners. *J Dent Res* 1986; 65: 609 (Abstr 32).

Letter to the Editor:

Gomez RS, de Oliveira JR, Castro WH. Spontaneous regression of a paradental cyst. *Dentomaxillofac Radiol* 2001; 30: 296 (letter).

Journal article on the internet:

Aboud S. Quality improvement initiative in nursing homes: the ANA acts in an advisory role. *Am J Nurs* [serial on the Internet]. 2002 Jun [cited 2002 Aug 12];102(6):[about 3 p.]. Available from: <http://www.nursingworld.org/AJN/2002/june/Wawatch.htm>

Homepage/Web site:

Cancer-Pain.org [homepage on the Internet]. New York: Association of Cancer Online Resources, Inc.; c2000-01 [updated 2002 May 16; cited 2002 Jul 9]. Available from: <http://www.cancer-pain.org/>.

10. Tables

Number tables consecutively with an Arabic numeral. Each table should have a separate caption or title. Methods not described in the text and any abbreviations should be explained at the foot of the table. Tables should be referred to specifically in the text of the paper. Tables are to include NO vertical rules and are to be submitted as editable text.

11. Figures

Number figures consecutively using Arabic numerals. Each figure should have a detailed legend listed on a separate sheet of paper with the heading Figure Legends. Figures should be referred to specifically in the text. Labelling of artwork should be Arial 8 point font. Ideally, figure sizes should be 84 mm wide, 175 mm wide or the intermediate width of 130 mm.

11.1 Points to note:

- Do not put a box around graphs, diagrams or other artwork.
- Avoid background grid lines unless these are essential (e.g. confidence limits).
- A coarse pattern such as hatching should be used (shading is liable to break up on the printed copy).
- Keys to symbols should be given underneath the figure itself and not in the legend.
- Lines in all graphs (including axes), diagrams and other artwork should be 1 point in weight.

- Label axes clearly in Arial 8 point font and include all units of measurement. Centre the label along the axis and align the direction of the text with the axis.

- Do not use three-dimensional histograms when the addition of a third dimension gives no further information.

Submit radiographic images trimmed so as to show no more than is necessary to illustrate the points made by the author, at the same time retaining sufficient anatomical landmarks. Where radiographs, particularly panoramic radiographs, are difficult to reproduce adequately, the author should consider digital enhancement (for an example see *Dentomaxillofac Radiol* 1999; 28: 348–350). The legend should state that the radiograph has been digitally enhanced. Patient identification must be obscured and side marks and transfer arrows applied to point out a particular feature where necessary. Patient consent must be obtained in writing if photographs are to be reproduced.

11.2 Image files

- Image files should be supplied in EPS, TIFF or JPEG format.
- TIFF is preferred for halftones, i.e. medical images such as radiographs, MR scans etc.
- EPS is preferred for drawn artwork (e.g. line drawings and graphs)
- For JPEG files, it is essential to save at maximum quality, i.e. "10", to ensure that quality is satisfactory when the files are eventually decompressed.
- DO NOT supply PowerPoint or MS WORD files as these may be problematic with respect to quality rendering.
- DO NOT supply GIF files—GIF is a compressed format that can cause quality problems when printed.
- Save each figure should be uploaded separately and numbered, e.g. "Figure 1", "Figure 2" etc.

11.3 Colour

- Unless essential to the content of the article, all illustrations should be supplied in black and white, with no colour (RGB, CMYK or Pantone references) contained within them.
- Images that do need to be reproduced in colour should be saved in CMYK, with no RGB or Pantone references contained within them.
- The cost of reproduction of colour images will be charged to the author at the following rates: £300 for one colour image, £500 for two colour images and £100 for each subsequent additional colour image.

11.4 Resolution

Files should be saved at the appropriate dpi (dots per inch) for the type of graphic (the typical screen value of 72 dpi will not yield satisfactory printed results):

Line drawings - save at 800 dpi (or 1200 dpi for fine line work)
Halftone and colour work - save at 300 dpi

11.5 Composition

The image should be cropped to show just the relevant area, and the amount of white space around the illustration should be kept to a minimum. All annotations (e.g. arrows) should be included within the images supplied.

11.6 Additional points

- Fonts should be Adobe Type 1 standard - Helvetica or Times are preferred.
- Ensure that lettering is appropriately sized - should correspond to 8 or 9 pt when printed.
- All lines (e.g. graph axes) should have a minimum width of ¼ pt (0.1 mm) otherwise they will not print; 1 pt weight is preferable.
- Avoid using tints, but any that are used must be at a minimum 5% level for that tint to print (but do not use too high a tint as it may print too dark).
- Captions should be incorporated in the manuscript text rather than in the image file.

Short Communication

A research paper reporting preliminary findings from a hypothesis-driven piece of research. It should contain the same structure as a full research paper with Introduction, Methods, Results and Conclusion.

Technical Report

A Technical Report is not a hypothesis-driven research report but describes a radiographic technique or piece of software of interest to a clinician or researcher in a relevant field of interest.

Editorials, Systematic Reviews and Review Articles

Editorials and Reviews will generally be solicited by the Editor but submissions and suggestions for such material are very welcome.

Letters to the Editor

Letters to the Editor are encouraged. They may deal with material in published papers or they may raise new issues. In the former, the Editor may send the letter first to the author(s) of the original paper so that any response can be published at the same time. On acceptance, an electronic letter will be sent to the authors confirming acceptance.

On Acceptance

An electronic letter will be sent to authors confirming acceptance. If necessary, electronic image files of higher resolution will be requested; details of image file formats are listed above. Authors will be e-mailed PDF proofs and given the opportunity to purchase offprints in addition to the 25 that will be provided free of charge. Articles will also appear in DMFR Online at <http://dmfr.birjournals.org>

Correspondences regarding manuscripts in production should be sent to the Production Editor, DMFRproduction@bir.org.uk. Please cite the manuscript reference number in all correspondences.

Editorial Office

Editorial correspondence should be sent to:
Ralf Schulze, OA Priz.-Doz. Dr. med. dent.
Poliklinik für Zahnärztliche Chirurgie
Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg
Universität Mainz
Augustusplatz 2
55131 Mainz
GERMANY
rschulze@mail.uni-mainz.de

E-Prints/Reprints

Thirty-five e-prints will be supplied free of charge to the principal author. A password will be emailed to the corresponding author when the issue is published online. The password can be shared with co-authors to allow them to download PDFs of the article. Reprints may be ordered using the form accompanying the proofs.

Business matters

Business correspondence and enquiries relating to advertising, subscriptions, back numbers or reprints should be addressed to the Publisher: The British Institute of Radiology, 36 Portland Place, London, W1B 1AT, UK. Tel. +44 (0)20 7307 1400; Fax +44 (0)207307 1414; Email: publications@bir.org.uk.

	
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS	
CERTIFICADO	
<p>O Comitê de Ética em Pesquisa da FOP-UNICAMP certifica que o projeto de pesquisa "Influência da segmentação e reconstrução de imagem na capacidade de diagnóstico da Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico utilizando softwares com plataforma DICOM", protocolo nº 120/2012, dos pesquisadores Saulo Leonardo Sousa Melo e Francisco Haiter Neto, satisfaz as exigências do Conselho Nacional de Saúde - Ministério da Saúde para as pesquisas em seres humanos e foi aprovado por este comitê em 17/11/2012.</p> <p>The Ethics Committee in Research of the School of Dentistry of Piracicaba - State University of Campinas, certify that the project "The impact on diagnostic yield of dental segmentation and reconstruction using DICOM compatible software systems", register number 120/2012, of Saulo Leonardo Sousa Melo and Francisco Haiter Neto, comply with the recommendations of the National Health Council - Ministry of Health of Brazil for research in human subjects and therefore was approved by this committee at 11/17/2012.</p>	
 Prof. Dra. Livia Maria Andaló Tenuta Secretária CEP/FOP/UNICAMP	 Prof. Dr. Jacks Jorge Junior Coordenador CEP/FOP/UNICAMP
<small>Nota: O título do protocolo aparece como fornecido pelos pesquisadores, sem qualquer edição. Notice: The title of the project appears as provided by the authors, without editing.</small>	

ANEXO 3 – Comprovante de submissão do artigo

Submission confirmation for "Comparative diagnostic yield of CBCT reconstruction using various software programs on the detection of vertical root fractures"

From: em.dmfr.0.2fd2de.d0831b54@editorialmanager.com on behalf of DMFR Office (rschulze@uni-mainz.de)

Sent: Monday, December 17, 2012 2:44:03 AM

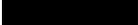
To: Saulo Leonardo Sousa Melo (slsm_aju@hotmail.com)

Dear Saulo,

Your submission entitled "Comparative diagnostic yield of CBCT reconstruction using various software programs on the detection of vertical root fractures" has been received by Dentomaxillofacial Radiology.

You will be able to check on the progress of your paper by logging on to Editorial Manager as an Author at <http://dmfr.edmgr.com/>

Username: 

Password: 

You will be informed by email of the manuscript reference number in due course.

Thank you for submitting your work to DMFR.

Kind regards,
DMFR Office