



Revisão

Tomografia computorizada de feixe cônico e a sua aplicação em Medicina Dentária

Francisco Correia ^{a,*} e Abel Salgado ^b

^a Médico Dentista. Aluno do VI Mestrado de Cirurgia Oral, Faculdade de Medicina Dentária, Universidade do Porto, Porto, Portugal

^b Médico Dentista. Doutorado pela Universidade de Santiago de Compostela, Espanha. Docente de Imagiologia Oral, Cirurgia Oral, Medicina Oral e Periodontia, Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal

INFORMAÇÃO SOBRE O ARTIGO

Historial do artigo:

Recebido a 25 de fevereiro de 2011

Aceite a 30 de novembro de 2011

On-line a 7 de fevereiro de 2012

Palavras-chave:

Tomografia computorizada de feixe cônico

Sistemas de informações radiológicas

Aplicações informáticas em Medicina

Práticas padrões em Medicina Dentária

R E S U M O

A presente revisão bibliográfica teve como objetivo saber qual o estado da arte da tomografia computorizada de feixe cônico (TCFC) e as suas diversas aplicações em Medicina Dentária. Esta tecnologia de diagnóstico de imagens a 3 dimensões, desenvolvida, especificamente, para cabeça e pescoço, aumentou de popularidade nos últimos anos. Apresenta diversas aplicações muito úteis na Medicina Dentária moderna, como a possibilidade de visualização de vários cortes ou a utilização em consultório dentário. Contudo, ainda existem algumas limitações a serem ultrapassadas, entre elas o elevado custo e a deficiente visualização de tecidos moles. Pesquisaram-se diversas fontes: Pubmed, Highwire, ScienceDirect e JADA. Foram utilizados 49 artigos no total, datados de 2005 até 2010.

© 2011 Sociedade Portuguesa de Estomatologia e Medicina Dentária. Published by Elsevier España, S.L. Todos os direitos reservados.

Cone beam computed tomography and its application in dental practice

A B S T R A C T

This literature review has the objective of discovering the state of the art on cone beam CT (CBCT) and its various applications in dental practice. This diagnostic 3D imaging technology was developed, specifically, for head and neck, has increased popularity in recent years. Presents several and very useful applications in modern dentistry, for instance, the possibility of viewing several cuts or the possibility of being used in the dental office. But still there are some limitations to be overcome, including the price and the poor visualization of soft tissue. We searched several sources: Pubmed, Highwire, ScienceDirect and JADA magazine. We used a total of 49 articles, from 2005 to 2010.

© 2011 Sociedade Portuguesa de Estomatologia e Medicina Dentária. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Keywords:

Cone-Beam Computed Tomography

Radiology Information Systems

Medical Informatics Applications

Dentist's Practice Patterns

* Autor para correspondência.

Correio eletrónico: fdiogocorreia@hotmail.com (F. Correia).

Introdução

Desde 1896, quando foi realizado o primeiro exame radiográfico, verificou-se uma enorme evolução na técnica das unidades radiológicas e outras tecnologias de apoio¹.

A tomografia de feixe cónico (TCFC) permite uma visualização a 3 dimensões (3D) das imagens e a visualização de diferentes cortes «em tempo real»^{2,3}.

A sua aplicação encontra-se hoje em dia amplamente introduzida na prática clínica da Medicina Dentária e a sua utilização abrange a cirurgia oral, cirurgia maxilofacial, implantologia, ortodontia, endodontia, periodontia, oclusão, entre outras^{2,4-6}. Apresenta como principais vantagens: grande capacidade de resolução das imagens (submilimétrica), baixa dose de radiação emitida, maior potencial para imagens maxilofaciais e rapidez de execução, quando comparada com outros aparelhos de tomografia computorizada (TC)^{2,5,7}.

Uma combinação de radiografias periapicais e radiografia panorâmica pode ser o mais adequado em inúmeras situações clínicas, mas, muitas vezes, imagens múltiplas poderiam facilitar o diagnóstico, de que é exemplo a TC. Inúmeras vezes o clínico não recorre a estes meios de diagnóstico devido ao seu elevado custo, à sua indisponibilidade ou às elevadas doses de radiação emitidas².

O TCFC é ideal para uso em consultório dentário, onde as doses de radiação assim como o custo são de extrema importância e o espaço necessário para o equipamento é limitado. Sendo este exame específico para cabeça e pescoço², está a revolucionar a face da Medicina Dentária atual com a sua capacidade de diagnóstico e pela visão que possibilita da cavidade oral e da região maxilofacial^{1,8}.

Métodos

Para a realização da recolha dos artigos foram usadas as bases de dados: *Pubmed*, *Highwire*, *ScienceDirect* e a revista *JADA*.

Nesta busca foram utilizadas como palavras-chave «dental + cone beam CT» e «dental + CBCT», as quais deveriam estar contidas no «abstract» ou «título» ou «palavras-chave» e limitada a busca, nos últimos 5 anos, a estudos em vivo e em humanos, nas línguas portuguesa, francesa, inglesa e espanhola. Os artigos deveriam ser metanálises, ensaios clínicos randomizados ou de controlo e revisões.

Na revista *JADA*, com a busca de palavras «dental + CBCT», encontramos 8 artigos e com a busca «dental + cone-beam» 10 artigos, sendo, no final, resumidos a 3 artigos, porque não falavam da funcionalidade do aparelho.

Na *Highwire* encontramos 9 artigos com a palavra-chave «dental + CBCT», reduzindo-se posteriormente a 6, e com a palavra-chave «dental + cone-beam» 26 artigos, dos quais apenas 10 preenchiam os requisitos propostos.

Na *Pubmed*, com a palavra-chave «dental + CBCT» recolhemos 15 artigos, sendo selecionados 8 e com a palavra «dental + cone-beam» 36 artigos, tendo sido selecionados 21 que preenchiam os critérios de inclusão.

Na base de dados *ScienceDirect*, com estes critérios, encontramos 32 artigos com a palavra «dental + CBCT», selecionados

7 e 35 com a palavra «dental + cone-beam», selecionados 15 que se integravam nas condições pretendidas.

Tomografia computorizada feixe cónico e o seu funcionamento

A TCFC foi desenvolvida para dar imagens com baixa dose de radiação^{7,9}.

O primeiro protótipo foi desenvolvido em 1982 para a angiografia. Em 1992 é usado como técnica de radioterapia guiada e em 1999 surge o primeiro TCFC, com sistema de imagens com uma *gantry* e um acelerador linear de partículas. Só em 2001 se tornou comercialmente disponível, com o New Tom QRDVT 900, desenvolvido pela Quantitative Radiology S.R.L, em Verona, Itália^{6,10}.

Para o aparecimento comercial contribuíram os avanços na tecnologia do painel detetor, a diminuição dos custos dos tubos de raio-X e a melhoria dos computadores, levando à diminuição do preço e tamanho dos aparelhos⁹.

A TCFC é baseada na tomografia volumétrica e usa a extensão digital a duas dimensões (2D) na área do detetor, combinado com um feixe de raio-X a 3D. A técnica *cone beam*, ou feixe cónico, é única e envolve apenas uma passagem a 360° com o scanner, onde a fonte do raio-X e a área recíproca se movem à volta da cabeça do paciente. Esta mantém-se estabilizada com um cefalostato. Posteriormente, um software de leitura de ficheiros de formato *Digital Imaging and Communications in Medicine* (DICOM) irá agregar as cerca de 512 imagens de cortes axiais e gerar imagens a 3D^{2,4,8,9}.

Possibilita, «em tempo real», imagens 2D coronais, sagitais e mesmo oblíquas ou curvas; consegue reunir as diferentes imagens, proporcionando uma imagem a 3D que vai permitir uma visão da cavidade oral e da região maxilofacial em qualquer plano. Permite, ainda nas imagens 3D, transformá-las em imagens a 2D, radiografias dentárias panorâmicas e teleradiografias, imprimi-las e anexar ao prontuário do paciente. Com o software básico podemos ainda realizar: zoom, magnificação visual com ajuste da escala de pretos e brancos, anotações, medições geométricas, fidedignas em qualquer plano, e coloração de estruturas importantes (ex. canal mandibular)^{1,2,4,8,11}.

A TCFC apresenta, comparativamente à tomografia computorizada multicorte (TCMC), inúmeras vantagens: custa 25% do preço de um scanner normal, tamanho mais reduzido, maior qualidade de contraste, mais rápida e menor emissão de radiação, maiores detalhes submilimétricos das estruturas ósseas e menos artefactos de metal^{4,11}.

Tem uma resolução semelhante para as imagens 3D e a resolução de corte submilimétrica varia de 0,08 mm a 0,4 mm ou 0,4 mm a 0,125 mm, o tempo de rotação para imagens básicas varia de 10 a 70 segundos, com uma exposição a radiação de 3 a 6 segundos ou 2 a 5 segundos (conforme o aparelho e programa de TCFC utilizado)^{2,4,11,13}. Durante este período são realizadas 580 imagens, cada uma destas imagens apresenta 512 × 512 pixéis, que, por sua vez, são aumentados para 1.024 pixéis pelo software e o resultado na imagem final reconstruída será de 1.024 voxéis^{2,4,11,13}.

O ajuste do foco vai reduzir a duração da dose de radiação (dose normal 30-80 μ SV - microsieverts), podendo ajustar para

as pequenas regiões pretendidas para diagnóstico específico ou realizar a região craniofacial completa^{2,9}.

Não há concordância entre muitos autores quanto à dose de radiação emitida: 98% menor que a de uma TC para uns, 4 a 15 vezes menor do que uma radiografia panorâmica para outros. Alguns referem ter 3 a 7, outros 4 a 20 vezes maior radiação, e há quem a encontre igual a uma ou 2/3 radiografias periapicais^{2,4,11,13-15}.

A TCFC é uma ferramenta importante na realização de diagnósticos e planos de tratamento complexos, no planeamento de implantes, enxertos ósseos, acesso cirúrgico a patologias, ATM, pré e pós-cirúrgicos de fraturas craniofaciais, na ortodontia com medições do desenvolvimento, demonstrações de variações anatómicas, entre outros^{2,6,8}.

Apresenta limitações para a visualização dos tecidos moles, que estão a ser ultrapassadas com os novos algoritmos. A limitação nas opções de quilovoltagem e miliamperes por segundo e a sua não aplicação intracraniana, atualmente, são outros dos problemas descritos^{2,10,12,16}. Pelo facto de a radiação ser transmitida através dos tecidos da cabeça e pescoço, se existir algo que interfira nesta transmissão, nem sempre o receptor recebe a informação correta de todas as direções (ruído). Além disto, quando a radiação atravessa objectos densos (ex. coroas metálicas e materiais de titânio) é parcial ou totalmente atenuada a sua transmissão da radiação, fazendo com que as reconstruções não sejam tão precisas⁸.

Outra das suas limitações é a distorção das Unidades de Hounsfield, o que impede a sua utilização para estimar a densidade óssea, embora alguns artigos refiram que podem ser usadas, pois a densidade obtida para o crânio, para valores de densidade óssea iguais, apresenta uma escala de cíntezos diferentes, o que na reconstrução origina valores diferentes. Para a ultrapassar estão, igualmente, a ser desenvolvidos novos softwares¹⁰.

Fatores como o tamanho, peso e género não influenciam a qualidade das imagens, mas a idade (diminuição da densidade óssea) e o metal presente na boca influenciam-na negativamente^{6,17}. O maior problema que a TCFC hoje enfrenta é o seu custo (entre 80 e 150 mil euros), que para a maioria dos consultórios dentários não é economicamente viável, existindo a possibilidade de recorrer a centros de imagem exteriores para realizar este exame⁸.

Existem também aparelhos de TCFC portáteis, como o **Xcat** que foi criado especificamente para ortodontia. Está a ser avaliado o seu uso e aplicação intraoperatória e como potencial ferramenta na avaliação das vias aéreas. Existem evoluções para permitir cirurgia guiada da cabeça e pescoço^{5,12}.

Ortodontia

Uma das grandes vantagens que a TCFC trouxe à ortodontia é o facto de, em apenas um exame, permitir reunir toda a documentação imanológica básica (ortopantomografia e cefalometria) necessária a um tratamento ortodôntico. Tudo isto é conseguido com a emissão de uma dose muito menor de radiação, com uma melhor e maior capacidade de diagnóstico^{4,6,17}. A TCFC veio transformar as antigas leituras de cefalometrias a 2D em imagens a 3D, além de possibilitar

o transporte das imagens para programas de mensuração de cefalometrias^{4,6}.

As principais aplicações em ortodontia são: avaliação do posicionamento tridimensional dos dentes retidos e a sua relação com os dentes e estruturas vizinhas; avaliação do grau de reabsorção radicular de dentes adjacentes aos caninos retidos; visualização das tábuas ósseas, vestibular e lingual, e a remodelação após a movimentação dentária; avaliação das dimensões das vias áreas superiores; avaliação da movimentação dentária para a região de osso atrésico; avaliação de defeitos ósseos alveolar para a colocação de miniimplantes de ancoragem ortodôntica; medição exata do diâmetro mesiodistal de dentes permanentes não erupcionados para avaliar a discrepância dentomaxilar e avaliações cefalométricas^{2,4,6,17,18}.

A colocação de miniimplantes poderá ser facilitada com a construção de uma guia cirúrgica feita a partir das imagens da TCFC. Esta guia irá ajudar a colocar os miniimplantes tanto na posição horizontal como vertical, evitando lesar estruturas adjacentes^{19,20}.

Oclusão

O estudo da ATM é difícil, mas com os novos conhecimentos, as informações obtidas a partir das imagens radiológicas deixaram de ser tão importantes. Os tipos e exames pedidos para avaliar a ATM variam conforme os sinais, sintomas e os possíveis diagnósticos. Muitas vezes é necessário combinar diferentes tipos de exames, como TC e ressonância magnética (MRI)^{21,22}.

Devido às baixas radiações emitidas pela TCFC, pelo elevado detalhe e inúmeros cortes permitidos para visualização da ATM, pelo menor custo em relação a TC médica e, ainda, pela possibilidade de permitir a visualização dos benefícios de procedimentos cirúrgicos, podemos considerar que estamos a evoluir numa nova direção, mas que irão ser necessários mais alguns estudos científicos^{6,17,18,21,23,24}.

Implantologia e diagnóstico de enxertos ósseos

A possibilidade de um paciente receber um implante dentário está dependente do seu nível e densidade óssea, sendo para isso executado um planeamento pré-cirúrgico, onde são avaliadas as estruturas anatómicas, a existência de alguma patologia, os requisitos estéticos e reconstrutivos^{25,26}.

As imagens a 3D fornecidas pela TCFC revelam detalhes anatómicos, permitem vários formatos e cortes, auxiliam na medição do volume ósseo e potenciam a inclusão de toda a documentação radiográfica necessária a um planeamento virtual pré-cirúrgico, tornando a cirurgia mais segura e eficaz (ex. angulações que perfurem as corticais). As imagens do planeamento podem ser usadas para explicar o tratamento ou utilizadas como marketing^{1,6,8,23,25}.

Permitem uma boa visualização dos seios maxilares, em termos de osso, de assimetrias ou de calcificações. Conseguimos ter medidas precisas e ideias concretas do volume do seio maxilar e a ter sempre em atenção a resolução dos tecidos moles (não é o melhor meio para a sua distinção).

Possibilita simular o tamanho e forma da boca e volume do enxerto que será necessário^{6,23,25}.

Devido a ter um custo e emissão de dose de radiação menor e fornecer uma imagem 3D, é um bom meio de substituição da TC espiral, TCMC e da ortopantomografia, pelo que se está a transformar no *standard* para o planeamento de implantar. Contudo, há quem continue a considerar a TCMC como sendo o «gold standard»^{23,27-30}.

Cirurgia oral

Com a ajuda da TCFC podemos planear a cirurgia de dentes inclusos com grande sucesso, tanto em casos de rotina como em casos complicados. A TCFC pode determinar a relação espacial do dente impactado em relação aos outros dentes ou a estruturas nobres. Com as imagens 3D que nos são facultadas pelo aparelho podemos melhorar o local de acesso cirurgia, diminuindo os riscos e aumentando a precisão da cirúrgico^{11,25,31,32}.

Se o TCMC é o *gold standard*, o TCFC demonstra ter a mesma fiabilidade em medições lineares mandibulares, mas com uma validade de imagem maior para detalhes anatómicos na região maxilofacial. Na maioria dos casos, a radiografia panorâmica e/ou radiografias intraorais são suficientes, mas, quando existe uma relação próxima do 3.º molar inferior com o canal mandibular, é recomendado uma TC ou TCFC devido à necessidade de informações anatómicas precisas, ou no caso em que o paciente não consegue ou tem dificuldade em posicionar a película^{17,32,33}.

Mesmo as imagens a 2D, apresentando muita informação, não conseguem detetar exatamente a posição do canino ectópico ou de um dente supranumerário: é possível na TCFC, indicar a inclinação e distância das estruturas adjacentes^{34,35} e permite a possibilidade de fazer reconstruções, de diagnosticar se o dente está a erupcionar numa posição ectópica ou se existe um supranumerário. Possui um software dedicado à análise, o que auxilia na preparação do plano de tratamento, aumentando o entendimento e a qualidade deste, diminuindo os custos. Permite ainda guiar e treinar a cirurgia de um canino ectópico e prever a melhor maneira de ser realizada a sua tração, observar o caminho de erupção e avaliar se é necessário abrir espaço na arcada, calcular os riscos de o incisivo lateral ser reabsorvido, o seu potencial de erupção e a probabilidade de reabsorção da sua raiz^{14,17,33-35}.

Cirurgia maxilofacial

A TCFC veio permitir a substituição da tradicional cefalometria e transformá-la em 3D, sendo que não tem distorções ou magnificações: existem programas informáticos que permitem um cálculo e planeamento precisos. A TCFC e o TCMC permitem uma avaliação ótima dos defeitos assimétricos, ao contrário dos métodos tradicionais.^{26,28,36}

Permite o envio das imagens para prototipagem, a criação de modelos da região estudada (estereolitografia) para um melhor estudo e planeamento, e que podem servir de guias nas cirurgias ortognáticas^{4,13,36}.

A cirurgia guiada por imagens tornou-se comum na área maxilofacial. Para este facto contribuíram as imagens a 3D e o advento da TCFC, que se mostrou fiável com a menor emissão de radiação e custo em relação à TC, mas que continua a apresentar resquícios de artefactos metálicos^{6,37-39}.

Endodontia

Novas tecnologias, instrumentos e materiais conduziram a um melhor diagnóstico e a uma maior previsibilidade do tratamento endodôntico. A TCFC tem um papel importante no diagnóstico e planeamento do tratamento, assim como permite a visualização 3D e elimina as sobreposições de estruturas^{6,13,40-42}.

O exame radiológico é um componente essencial na gestão endodôntica, avaliando aspectos como o diagnóstico, o plano de tratamento, o controlo intraoperatório e o prognóstico^{11,42}.

A TCFC é usada no diagnóstico de patologia endodôntica e não endodôntica. Auxilia na distinção de tratamento endodôntico cirúrgico ou não cirúrgico, planeamento pré-cirúrgico, identificação da morfologia e anatomia dos canais, deteção de canais não visíveis ou acessórios, realização de medições precisas das distâncias dos canais, avaliação da verdadeira natureza topográfica do osso alveolar em que os dentes estão assentes, avaliação das fraturas ou traumas das raízes, análise e caracterização externa e interna das reabsorções radiculares assim como de reabsorções cervicais, deteção da diferença entre quistos e granulomas ou outro tipo de lesões de cavidade. Ajuda a detetar a doença periapical mais precocemente, com maior sensibilidade e precisão do que uma radiografia periapical, a calcular o tamanho preciso, a extensão e a posição natural de uma lesão periapical e das lesões de reabsorção^{6,11,20,42-46}.

As suas imagens tridimensionais são extremamente úteis, pois permitem observar a relação espacial da raiz ou das múltiplas raízes e avaliar as dimensões. Outra das vantagens é o facto de as imagens geometricamente precisas resolverem o problema do ruído^{13,47}.

Permite um planeamento mais preciso, determinando a espessura da cortical, presença de fenestrações ósseas, inclinação das raízes e dentes. A morfologia das raízes, a topografia óssea podem ser observadas a 3D, assim como o número de canais radiculares, a sua divergência ou convergência, o seu verdadeiro tamanho, localização e extensão das lesões periapicais e qual a raiz a que a lesão está associada. O tratamento é mais efetivo antes de ser possível a sua deteção radiológica. Em locais onde o paciente se queixa e não se observam sinais, a TCFC pode ser uma boa aposta para detetar patologia não diagnosticada, determinar um prognóstico mais objetivo e preciso no tratamento endodôntico. Podemos concluir que a TCFC conduz a um melhor planeamento da cirurgia endodôntica, levando a uma melhoria dos resultados e objetivos^{6,11,13}.

Será uma ferramenta com grande potencial e valor na endodontia moderna, com capacidade de substituição das imagens 2D^{42,45,46}.

Para uso em endodontia, a dose de radiação exposta deverá diminuir ainda mais e a sua resolução aumentar⁴⁴.

Periodontia

Os primeiros relatos da aplicação da TCFC em periodontia foram no diagnóstico, na avaliação e na evolução do tratamento da periodontite. Estudos *in vivo* mostram a sua eficiência na reconstrução de imagens, de defeitos periodontais intraósseos, defeitos de fenestrações, deiscências e lesões de furcação, em comparação com radiografias ou TCMC e, ainda nas medições histológicas⁶.

Apresenta maior sensibilidade do que a radiografia periapical ou a panorâmica na periodontite. Tem 2 a 3 vezes mais sensibilidade na deteção de lesões periodontais do que o raio-X convencional. Pode ser usada de uma forma objetiva e exata para visualizar as modificações do osso ao longo do tempo. Permite avaliar se continua a existir uma doença periodontal melhor do que uma radiografia periapical, o que poderá conduzir a uma alteração do plano de tratamento, assim como a uma melhor previsão dos resultados do tratamento da periodontite apical^{6,13,48}, mas a radiografia continua a proporcionar uma melhor qualidade do contraste ósseo e da delimitação da lâmina dura, assim como uma visualização do ligamento periodontal e do espaço do ligamento periodontal⁶.

A TCFC promete ser superior às imagens 2D para ver a topografia óssea e a arquitetura das lesões, mas não mais eficaz para observar a altura óssea. Pode substituir as imagens 2D, pois é mais fácil de realizar, mais rápida, com menor radiação e menores problemas de distorção geométrica do que uma série de radiografias periapicais da boca completa⁴⁶.

Conclusões

É de prever que a TCFC evolua ainda mais, com novos softwares, algoritmos, computadores mais potentes, melhores painéis detetores e emissores de raio-X, com novas funcionalidades, o que abrirá um novo leque de possibilidades, além de melhorar e aperfeiçoar as anteriores funções.

Com esta evolução, prevê-se uma redução dos custos e, consequentemente, uma generalização a todos os consultórios dentários, substituindo os atuais aparelhos de cefalometria e de ortopantomografia, com o objetivo de melhorar os cuidados de saúde prestados, otimizar o diagnóstico, diminuir os erros e aumentar a eficácia do tratamento.

Contudo, é muito importante não esquecer que antes de qualquer uso, o profissional deverá adquirir formação e treino sobre a utilização do aparelho e do software, de modo a obter o máximo aproveitamento do equipamento.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

BIBLIOGRAFIA

- Ruprecht A. Oral and Maxillofacial Radiology Then and Now. *J Am Dent Assoc.* 2008;139:5-6.
- Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc.* 2006;72:75-80.
- Momin MA, Okochi K, Watanabe H, Imaizumi A, Omura K, Amagasa T, et al. Diagnostic accuracy of cone-beam CT in the assessment of mandibular invasion of lower gingival carcinoma: comparison with conventional panoramic radiography. *Eur J Radiol.* 2009;72:75-81.
- Garib DG, Raymundo R, Raymundo MV, Raymundo DV, Ferreira SN. Tomografia computadorizada de feixe cônicoo (Cone beam): entendendo este novo método de diagnóstico por imagem com promissora aplicabilidade na Ortodontia. *Rev Dent Press Ortodon Ortop.* 2007;12:139-56.
- Watanabe H, Honda E, Kurabayashi T. Modulation transfer function evaluation of cone beam computed tomography for dental use with the oversampling method. *Dentomaxillofac Radiol.* 2010;39:28-32.
- Miracle AC, Mukherji SK. Conebeam CT of the head and neck, part 2: clinical applications. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2009;30:1285-92.
- Cha JY, Mah J, Sinclair P. Incidental findings in the maxillofacial area with 3-dimensional cone-beam imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;132:7-14.
- Howerton Jr WB, Mora MA. Advancements in digital imaging: what is new and on the horizon? *J Am Dent Assoc.* 2008;139:20-4.
- Miracle AC, Mukherji SK. Conebeam CT of the Head and Neck, Part 1: Physical Principles. *Am J Neuroradiol.* 2009;30:1088-95.
- De Vos W, Casselman J, Swennen GR. Cone-beam computerized tomography (CBCT) imaging of the oral and maxillofacial region: a systematic review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2009;38:609-25.
- Patel S, Dawood A, Whaites E, Pitt Ford T. New dimensions in endodontic imaging: part 1. Conventional and alternative radiographic systems. *Int Endod J.* 2009;42:447-62.
- Rumboldt Z, Huda W, All JW. Review of portable CT with assessment of a dedicated head CT scanner. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2009;30:1630-6.
- Patel S. New dimensions in endodontic imaging: Part 2, Cone beam computed tomography. *Int Endod J.* 2009;42: 463-75.
- Angelopoulos C, Thomas SL, Hechler S, Parissis N, Hlavacek M. Comparison between digital panoramic radiography and cone-beam computed tomography for the identification of the mandibular canal as part of presurgical dental implant assessment. *J Oral Maxillofac Surg.* 2008;66: 2130-5.
- Silva MA, Wolf U, Heinicke F, Bumann A, Visser H, Hirsch E. Cone-beam computed tomography for routine orthodontic treatment planning: a radiation dose evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;133:e1-5.
- Zhang Y, Zhang L, Zhu XR, Lee AK, Chambers M, Dong L. Reducing metal artifacts in cone-beam CT images by preprocessing projection data. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2007;1;67:924-32.
- Ritter L, Mischkowski RA, Neugebauer J, Dreiseidler T, Scheer M, Keeve E, et al. The influence of body mass index, age, implants, and dental restorations on image quality of cone beam computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;108:e108-16.
- Holberg C, Steinhäuser S, Geis P, Rudzki-Janson I. Cone-beam computed tomography in orthodontics: benefits and limitations. *J Orofac Orthop.* 2005;66:434-44.
- Kim SH, Choi YS, Hwang EH, Chung KR, Kook YA, Nelson G. Surgical positioning of orthodontic mini-implants with guides fabricated on models replicated with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;131 Suppl:S82-9.

20. 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.
21. Lewis EL, Dolwick MF, Abramowicz S, Reeder SL. Contemporary imaging of the temporomandibular joint. *Dent Clin North Am.* 2008;52:875-90.
22. Hussain AM, Packota G, Major PW, Flores-Mir C. Role of different imaging modalities in assessment of temporomandibular joint erosions and osteophytes: a systematic review. *Dentomaxillofac Radiol.* 2008;37:63-71.
23. Dreiseidler T, Mischkowski RA, Neugebauer J, Ritter L, Zöller JE. Comparison of cone-beam imaging with orthopantomography and computerized tomography for assessment in presurgical implant dentistry. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2009;24:216-25.
24. Scrivani SJ, Keith DA, Kaban LB. Temporomandibular disorders. *N Engl J Med.* 2008;359:2693-705.
25. Ganz SD. Conventional CT and cone beam CT for improved dental diagnostics and implant planning. *Dent Implantol Update.* 2005;16:89-95.
26. Boeddinghaus R, Whyte A. Current concepts in maxillofacial imaging. *Eur J Radiol.* 2008;66:396-418.
27. Hamada Y, Kondoh T, Noguchi K, Iino M, Isono H, Ishii H, et al. Application of limited cone beam computed tomography to clinical assessment of alveolar bone grafting: a preliminary report. *Cleft Palate Craniofac J.* 2005;42:128-37.
28. Farman AG, Levato CM, Gane D, Scarfe WC. In practice: how going digital will affect the dental office. *J Am Dent Assoc.* 2008;139 Suppl:14S-9S.
29. Monsour PA, Dudhia R. Implant radiography and radiology. *Aust Dent J.* 2008;53 Suppl:S11-25.
30. Naitoh M, Nakahara K, Suenaga Y, Gotoh K, Kondo S, Ariji E. Comparison between cone-beam and multislice computed tomography depicting mandibular neurovascular canal structures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010;109:e25-31.
31. Enciso R, Danforth RAES, Memon A, Mah A. Third-molar impaction diagnostic with cone-beam computerized tomography. *Int Congr Ser.* 2005;1281:1196-9.
32. Nakagawa Y, Ishii H, Nomura Y, Watanabe NY, Hoshiba D, Kobayashi K, et al. Third molar position: reliability of panoramic radiography. *J Oral Maxillofac Surg.* 2007;65:1303-8.
33. Flygare L, Ohman A. Preoperative imaging procedures for lower wisdom teeth removal. *Clin Oral Investig.* 2008;12:291-302.
34. Alquerban A, Jacobs R, Lambrechts P, Loozen G, Willems G. Root resorption of the maxillary lateral incisor caused by impacted canine: a literature review. *Clin Oral Investig.* 2009;13:247-55.
35. Liu DG, Zhang WL, Zhang ZY, Wu YT, Ma XC. Three-dimensional evaluations of supernumerary teeth using cone-beam computed tomography for 487 cases. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007;103:403-11.
36. Metzger MC, Hohlweg-Majert B, Schwarz U, Teschner M, Hammer B, Schmelzeisen R. Manufacturing splints for orthognathic surgery using a three-dimensional printer. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008;105:e1-7.
37. Mischkowski RA, Zinser MJ, Ritter L, Neugebauer J, Keeve E, Zöller JE. Intraoperative navigation in the maxillofacial area based on 3D imaging obtained by a cone-beam device. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2007;36:687-94.
38. Eggers G, Klein J, Welzel T, Mühling J. Geometric accuracy of digital volume tomography and conventional computed tomography. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2008;46:639-44.
39. Eggers G, Mühling J, Hofele C. Clinical use of navigation based on cone-beam computer tomography in maxillofacial surgery. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2009;47:450-4.
40. Cohenca N, Simon JH, Roges R, Morag Y, Malfaz JM. Clinical indications for digital imaging in dento-alveolar trauma, Part 1: traumatic injuries. *Dent Traumatol.* 2007;23:95-104.
41. Cohenca N, Simon JH, Mathur A, Malfaz JM. Clinical indications for digital imaging in dento-alveolar trauma, Part 2: root resorption. *Dent Traumatol.* 2007;23:105-13.
42. Cotton TP, Geisler TM, Holden DT, Schwartz SA, Schindler WG. Endodontic applications of cone-beam volumetric tomography. *J Endod.* 2007;33:1121-32.
43. Cotti E. Advanced techniques for detecting lesions in bone. *Dent Clin North Am.* 2010;54:215-35.
44. Nesari R, Rossman LE, Kratchman SI. Cone-beam computed tomography in endodontics: are we there yet? *Compend Contin Educ Dent.* 2009;30:312-24.
45. Wu MK, Shemesh H, Wesseling PR. Limitations of previously published systematic reviews evaluating the outcome of endodontic treatment. *Int Endod J.* 2009;42:656-66.
46. Tyndall DA, Rathore S. Cone-beam CT diagnostic applications: caries, periodontal bone assessment, and endodontic applications. *Dent Clin North Am.* 2008;52:825-41.
47. 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;40:818-30.
48. Grimard BA, Hoidal MJ, Mills MP, Mellonig JT, Nummikoski PV, Mealey BL. Comparison of clinical, periapical radiograph, for cone-beam volume tomography measurement techniques and assessing bone level changes following regenerative periodontal therapy. *J Periodontol.* 2009;80:48-55.