

MICROTOMOGRÁFIA COMPUTADORIZADA NA AVALIAÇÃO DO PREPARO DO CANAL RADICULAR: ANÁLISE CRÍTICA

Microcomputed Tomography For Evaluation Of Root Canal Preparation: A Critical Analysis

Ana Helena G. de **ALENCAR***; Jose Antônio de Poli **FIGUEIREDO****; Carlos **ESTRELA*****

* Professora Adjunto da Disc. de Endodontia da FO/UFG.

* Professor da Disc. de Endodontia da PUCRS.

* Professor Titular da Disc. de Endodontia da FO/UFG.

Endereço para correspondência: Professora Ana Helena G. Alencar,
Faculdade de Odontologia,
Universidade Federal de Goiás,
Disciplina de Endodontia,
Praça Universitária s/n, Goiânia-GO,
e-mail:ahga@ibest.com.br

RELEVÂNCIA CLÍNICA

Conhecer novas tecnologias e saber analisá-las criticamente é fundamental para o desenvolvimento de práticas clínicas mais eficientes.

RESUMO

Muitos equipamentos e métodos têm sido empregados para avaliação in vitro do preparo do canal radicular. No entanto, a maioria deles apresenta como limitação a destruição do espécime e a impossibilidade de avaliar simultaneamente diferentes critérios do preparo do canal radicular. A microtomografia computadorizada (μ CT), além ser uma tecnologia não invasiva, permite a visualização tridimensional do canal radicular, oferecendo dados reprodutíveis que possibilitam comparações pré e pós- instrumentação. O objetivo do presente trabalho foi realizar uma análise crítica da μ CT, como método de avaliação do preparo do canal radicular.

PALAVRAS-CHAVES: Microtomografia computadorizada; preparo do canal radicular; instrumentação do canal radicular, terapia endodôntica

ABSTRACT

A variety of devices and methods have been described for the in vitro evaluation of the root canal preparation. However, the majority of these studies has limitations as destruction of the specimens and impedes the simultaneous investigation of different parameters of root canal preparation. The microcomputed tomography, non-invasive technique, allows to visualize the morphologic characteristics of the root canal three-dimensionally. Also, the μ CT offers reproductive data which possibilities the comparison of the shape of root canal before and after preparation. The aim of this study was to perform a critical analysis of the μ CT as method to evaluate the root canal preparation by review of the literature.

KEYWORDS: Microcomputed tomography; root canal preparation; three dimensional imaging, root canal therapy.

INTRODUÇÃO

O preparo do canal radicular é considerado uma etapa essencial para o sucesso da terapia endodôntica. Tem como objetivo eliminar bactérias presentes no canal radicular, tecido necrótico e dentina contaminada, bem como alcançar um preparo afunilado com menor diâmetro apical, mantendo a forma original do canal radicular²⁶.

Infelizmente, limpeza e modelagem do canal radicular não são procedimentos de fácil realização, especialmente em canais curvos²⁶. Fatores como comprimento do dente, grau de curvatura e diâmetro do canal radicular podem fazer a instrumentação ainda mais difícil¹³. A imprevisibilidade da anatomia interna, aliada a aspectos microbiológicos, tem sido considerados como os maiores desafios do preparo do canal radicular¹⁸.

O advento de técnicas de preparo com instrumentos rotatórios de níquel-titânio tem modificado a percepção da instrumentação do canal radicular. Conseqüentemente, sistemas mais avançados, que permitam avaliações melhores e comparações em três dimensões antes e após o preparo, tem sido requeridos para análise do desempenho destas técnicas²².

Uma variedade de métodos experimentais tem sido utilizada para avaliar o grau de limpeza do canal radicular, as alterações na forma e a incidência de procedimentos errados causados por diferentes instrumentos e técnicas. Entretanto, a maioria deles apresenta limitações, como por exemplo, a destruição da amostra e a impossibilidade de avaliar simultaneamente diferentes parâmetros do preparo do canal radicular⁵.

O uso de tecnologias modernas tem sido defendido com a perspectiva de que dados coletados de dentes intactos estejam prontamente disponíveis para avaliações posteriores. A microtomografia computadorizada (μ CT), além de ser uma técnica não invasiva, possui habilidade de mostrar

características morfológicas detalhadas do canal radicular, de maneira acurada. Este recurso tecnológico oferece dados reprodutíveis em três dimensões que permitem comparações antes e após a instrumentação, mostrando-se como uma promissora ferramenta para estudos de preparo do canal radicular^{18, 24}. O objetivo do presente trabalho foi de realizar uma análise crítica da μ CT na avaliação do preparo do canal radicular, por meio de revisão da literatura.

ANÁLISE CRÍTICA DA LITERATURA

A análise crítica da literatura foi desenvolvida considerando três importantes aspectos: os critérios de avaliação da qualidade do preparo do canal radicular, as metodologias avaliativas e a microtomografia computadorizada.

1. Critérios de Avaliação da Qualidade do Preparo do Canal Radicular

Durante a análise do preparo do canal radicular algum parâmetro tem sido considerado de especial interesse, particularmente a habilidade de limpar e de dar forma ao canal radicular¹⁸. Para avaliação da limpeza in vitro, a maioria dos estudos adota como critério a presença ou ausência de raspas de dentina^{17, 20}. Em pesquisas clínicas o parâmetro utilizado tem sido a redução do número de microrganismos presentes no canal radicular após a instrumentação⁷.

Para avaliar a qualidade do preparo do canal radicular têm sido usados como critérios: forma, grau e frequência de retificações, transporte de canal, formação de ombros e zips, perfurações e perda do comprimento de trabalho¹⁸. É observada na literatura uma ausência de padronização de critérios em estudos com microscópio eletrônico

de varredura (MEV), fotografias, radiografias e sistemas de escores de limpeza. Várias publicações não incluem calibração de avaliadores, treinamento de operadores e métodos de mensuração de curvaturas, o que tem impossibilitado avaliações comparativas¹⁷.

Apesar de muitos estudos analisarem a forma do canal radicular, poucos investigaram simultaneamente a limpeza e a modelagem. Estas pesquisas com parâmetros isolados têm conduzido a conclusões limitadas sobre equipamentos, instrumentos e técnicas¹⁸.

2. Metodologias Utilizadas

Durante as últimas décadas, um grande número de metodologias tem sido descrito para avaliar a instrumentação endodôntica incluindo canais simulados⁴³, estudos com MEV³⁴, cortes seriados⁴, comparações radiográficas³ e impressões de silicone de canais instrumentados¹. No entanto, limitações inerentes a estes métodos têm sido repetidamente discutidas, encorajando a procura de tecnologias que possibilitem avaliações quantitativas e qualitativas do preparo do canal radicular.

Basicamente, dois modelos experimentais têm sido usados: dentes humanos extraídos e canais simulados. A reprodução da situação clínica em termos de dureza de dentina, variações em três dimensões de curvaturas radiculares e irregularidades do sistema de canais radiculares, pode ser considerada uma das maiores vantagens do uso de dentes humanos extraídos em pesquisas endodônticas. Por outro lado, variações como espessura de dentina, localização e tamanho de forame apical, largura e comprimento do canal e particularmente ângulo, raio, comprimento e localização de curvatura do canal radicular, tem impossibilitado a padronização das amostras¹⁸.

Weine et al.³⁴ (1975), com o objetivo de transpor estas limitações, introduziram estudos em blocos de resinas com canais simulados, os quais além de permitirem a padronização do diâmetro do canal radicular e da curvatura, possibilitaram a determinação da forma do canal radicular original¹⁰. Para Weine et al.³⁴ (1975) se a forma do canal radicular é desconhecida, os efeitos da instrumentação também serão. Entretanto, canais simulados não permitem avaliação de limpeza¹⁰.

A limpeza do canal radicular tem sido avaliada por meio de MEV. Pré-dentina, tecido pulpar e raspas podem ser coradas, e a quantidade de tecido remanescente mensurada em secções horizontais³³. O uso de secções transversais permite avaliação dos istmos, no entanto, debris presentes

na luz do canal radicular podem se perder durante o seccionamento. Por outro lado, secções longitudinais possibilitam a inspeção da limpeza do canal principal, mas debris presentes em canais laterais e istmos são difíceis de serem observados, mostrando-se como limitantes da metodologia¹⁸.

Outro método usado para avaliar *in vitro* o preparo do canal radicular foi proposto por Bramante et al.⁴ (1987). No qual o dente humano extraído é envolvido em um bloco de resina e a forma do canal radicular é registrada após o seccionamento transversal em vários planos. A seguir, as secções são recolocadas na posição original. Após a instrumentação, as secções são re-examinadas e o novo formato do canal é registrado. Com esta metodologia tem sido possível avaliar-se área, forma e transporte do canal além de dados obtidos pré e pós instrumentação poderem ser comparados e analisados^{20, 31}. Porém, o registro de imagens padronizadas antes e após a instrumentação tem se mostrado muito difícil³.

Em 1972, Davis et al.⁸ introduziram silicone dentro de canais radiculares instrumentados, e após a descalcificação, obtiveram modelos de silicone para avaliação. Apesar do silicone ser capaz de mostrar detalhes menores que 1µm, este método não possibilita a obtenção de informações sobre o canal radicular original, pois a introdução do silicone em canais não preparados é uma manobra complicada³.

Apesar de estudos com radiografias convencionais e digitalizadas terem fracassado em determinar a correta morfologia do canal radicular¹⁶, esforços ainda tem sido feitos para analisar o preparo do canal radicular usando radiografias¹⁷. Mesmo com uso de plataformas e a possibilidade de avaliação *in vitro* no sentido méso-distal, as distorções e superposições são inevitáveis, e informações significantes podem se perder comprometendo os resultados. As informações obtidas são limitadas pelo fato de que a anatomia de uma área tri-dimensional, sendo radiografada, é comprimida dentro de uma imagem bi-dimensional.

3. Microtomografia Computadorizada

Desde que radiografias mostram somente projeções bi-dimensionais, são importantes técnicas que mostrem o sistema de canais radiculares tridimensionalmente, como as tomografias²³.

Em 1984, Elliot & Dover¹² demonstraram uma técnica não destrutiva para estudar o tecido ósseo em três dimensões usando a µCT. Em 1990, Tachibana & Matsumoto³² avaliaram a aplicabilidade da µCT na Endodontia, e concluíram que

apesar de ser interessante a visualização das imagens dos canais radiculares em três dimensões, a μ CT tinha uso limitado devido a falta de acurácia, alta dose de radiação, tamanho do equipamento, alto custo e tempo consumido. Ainda, a série de imagens geradas pela μ CT somente poderia ser visualizada tridimensionalmente após a realização do processo de reconstrução, o que tornava o uso de um software apropriado indispensável.

Avanços tecnológicos, levando a diminuição do tamanho do microtomógrafo, aliada a avanços no software, incentivaram a realização de novas tentativas de incorporar a μ CT à pesquisa endodôntica^{14, 21}.

Nielsen et al.²¹ (1995) investigaram geométrica e matematicamente o canal radicular, e mostraram ser possível reproduzir com acurácia a complexa anatomia do sistema de canais radiculares usando μ CT. Em 1996, Gambill et al.¹⁴ tentaram comparar técnicas de instrumentação usando imagens de μ CT. Entretanto, por construir imagens a partir de 1 mm, a reprodutibilidade dos canais radiculares não mostrou-se consistente.

Com a melhora no software, a espessura do corte da μ CT foi reduzida para 81 μ m²⁸, 34 μ m²³ e 13 μ m²⁷. Tecnicamente a mais alta acurácia é conseguida com a resolução in vitro de 5 a 10 μ m¹². Entretanto, para Peters et al.²³ (2000) cortes de espessura entre 34 a 68 μ m produzem uma qualidade de imagem aceitável para diagnóstico da anatomia interna, desde que as mudanças do canal radicular no longo eixo ocorrem gradualmente. Embora canais laterais, localizados exatamente no corte, possam não ser registrados se seus diâmetros forem menores que a espessura do corte.

Rhodes et al.²³ (1999) compararam o espaço interno do canal radicular e área da superfície externa usando imagens reconstruídas de μ CT e videomicroscópio e encontraram uma alta significância de correlação. Ainda, estudos in vivo em animais têm demonstrado que a μ CT, além de ser um método não invasivo, produz resultados comparáveis com os de seções histológicas².

A acurácia e a reprodutibilidade da μ CT foram avaliadas por Peters et al.^{23, 24} (2000, 2001). Os resultados demonstraram que a μ CT possui habilidade de visualizar características morfológicas detalhadas do canal radicular, de maneira acurada sem destruição do dente, e oferece dados reprodutíveis em três dimensões, que permitem a comparação antes e após o preparo do canal radicular. O que mostra que estudos precisos de instrumentação são possíveis usando μ CT.

DISCUSSÃO

Recentes estudos, com software mais apropriado, tem tornado possível a avaliação tridimensional do preparo do canal radicular com menores projeções de erros²⁵. Peters et al.²² (2001) consideraram que utilizar a μ CT somente para visualização tridimensional do canal radicular não aproveita todo o potencial a qual possui para produzir avaliações qualitativas e quantitativas.

A μ CT apresenta como vantagens a possibilidade de reprodução do sistema de canais radiculares tridimensionalmente, de repetidas mensurações antes e após o preparo do canal radicular, além do auxílio do computador para avaliação de diferenças entre as duas imagens¹⁸.

Apesar de estudos mostrarem a acurácia da μ CT na reprodução da anatomia interna, Gambill et al.¹⁴ (1996) e Dowker et al.⁹ (1997) afirmaram que a μ CT não era adequada para detectar alterações na anatomia do canal radicular antes e após a instrumentação. De acordo com Peters et al.²⁵ (2003) estes estudos falharam por causa de problemas técnicos e falta de softwares apropriados.

O efeito da instrumentação no canal radicular tem sido avaliado comparando-se volume e área de superfície do canal, espessura de dentina, conicidade, transporte de canal e áreas não instrumentadas. Erros de instrumentação como zips, retificações e degraus podem ser avaliados usando reconstrução com código de cores²².

Entretanto, avaliações quantitativas em três dimensões dever ser interpretadas com cautela, por exemplo, surpreendentemente a instrumentação resulta em ganho de volume do canal, mas diminuição da área de superfície. É essencial que se compreenda que a área de superfície é maior antes do preparo porque inclui áreas irregulares de mineralizações versus superfícies lisas após a instrumentação²¹.

O conhecimento de possíveis fontes de erros para evitar interpretações incorretas de imagens reconstruídas é fundamental. A segmentação tende, por si mesma, a enfatizar degraus. Isto significa que canais menores do que a resolução não podem ser vistos na imagem reconstruída. Além do mais, alguns detalhes de imagem podem aparecer mais pontiagudos do que na realidade o são⁷.

A espessura de dentina removida também pode ser analisada na μ CT. No entanto, os resultados têm que ser interpretados cuidadosamente, os quais dependem do exato reposicionamento de imagens antes e após o preparo.

influenciando a precisão das medidas. Se a quantidade de dentina removida for menor que $34\ \mu\text{m}$, pode não ser registrada e, remoções muito maiores que $34\ \mu\text{m}$ podem refletir falta de correta superposição das imagens²⁴.

Os achados resultantes de estudos que avaliaram o preparo do canal radicular usando a μCT , indicaram que a forma final do canal após o preparo é mais dependente da anatomia prévia do que da técnica ou do instrumento usado. Por exemplo, canais palatinos que foram preparados até o instrumento de número 45 produziram menos alterações em volume e área de superfície do que canais méso-vestibulares (MV) ou disto-vestibulares (DV) preparados até o instrumento de número 40. Canais palatinos arredondados permaneceram virtualmente inalterados e pobremente preparados. Em contraste, canais MV e DV foram arredondados e bem preparados²². Porém, o significado de canais clinicamente bem preparados não está claro, considerando que microrganismos podem penetrar profundamente nos túbulos dentinários, e a forma final do preparo não ser o mais importante²⁵.

O transporte do canal radicular é um erro comum em todas as técnicas de instrumentação e pode ser avaliado em três dimensões usando μCT ^{14, 18, 21}. Na μCT o transporte do canal se refere ao movimento do centro de gravidade em números absolutos, e em relação à curvatura do canal principal. A direção do transporte do canal pode também ser determinada na μCT . Em interessante estudo realizado por Peters et al.²⁴ (2001), pode-se observar uma quantidade de transporte do canal menor que $40\ \mu\text{m}$. A partir destes resultados tem sido debatido se desvios de canal em torno de $10\ \mu\text{m}$ seriam relevantes ou não clinicamente. No entanto, canais radiculares com zip apical têm significativamente maior infiltração comparado com canais idealmente preparados³⁵.

Tem sido proposto que canais radiculares sejam preparados no terço apical com os maiores diâmetros possíveis, devido otimizar a sanificação. Até que tamanho que o canal radicular deveria ser preparado apicalmente? Este debate começou há mais de 30 anos¹⁹ e parece ainda não solucionado. Estudos com μCT indicam que padronizações em termos de tamanho apical não condizem com a variedade de anatomia que cada dente tem individualmente²². A complexa anatomia da porção apical dificulta a interpretação, principalmente em cortes menores do que $50\ \mu\text{m}$ ⁵⁸. Mais estudos com μCT são requeridos para detalhar os efeitos de diferentes técnicas de instrumentação na porção apical do canal radicular.

A μCT permite a avaliação simultânea da

limpeza do canal radicular através da mensuração de áreas não instrumentadas. Subtraindo-se imagens antes e após a instrumentação tem sido revelado que grande porção da superfície dos canais radiculares permanece intocada²⁴. Peters et al.²⁵ (2003) demonstraram que canais radiculares amplos tiveram áreas significativamente mais intocadas do que canais constrictos, ressaltando o impacto da anatomia pré-operatória na quantidade de áreas não instrumentadas após o preparo. Observa-se ainda que em estudos com MEV, microrganismos podem penetrar mais do que $150\ \mu\text{m}$ dentro dos túbulos dentinários³⁰, no entanto parece impossível, após estas pesquisas, remover mecanicamente toda a espessura de dentina potencialmente infectada.

Embora o potencial da μCT em estudos experimentais em Endodontia seja repetidamente relatado como sendo excelente, a reconstrução e mensuração de cada corte requer muito tempo. A resolução espacial da μCT tem aumentado continuamente de $127\ \mu\text{m}^2$ ²¹ até $34\ \mu\text{m}^2$ ²² e esta alta resolução reflete em maior tempo de scanner, o qual é adicionado ao tempo de reconstrução²². Por exemplo, a reconstrução da imagem de um molar superior requer 3 horas usando o mais moderno sistema disponível, além de exigir um alto grau de perícia do operador². Devido ao prolongado tempo de scanner e reconstrução, pequeno número de amostras tem sido usado nas pesquisas comprometendo os resultados estatísticos.

CONCLUSÃO

O número de trabalhos avaliando o preparo do canal radicular por meio da μCT é ainda pequeno, o que sinaliza a necessidade de mais estudos para compreensão dos aspectos biomecânicos do preparo do canal radicular. Embora a μCT não possa ser usada in vivo parece ter potencial de aplicabilidade para pesquisas de avaliação do preparo do canal radicular.

REFERENCIAS

1. Abou-Rassi M, Jastrab R. The use of rotatory instruments as auxiliary aids to root canal preparation of molars. *J Endod.* 1982;78(3):78-82.
2. Balto K, Muller R, Carrington DC, Dobeck J, Stashenko P. Quantification of periapical bone destruction in mice of micro-computed tomography. *J Dent Res.* 2000;79(1):35-40.

3. Barthel CR, Gruber S, Roulet J-R. A new method to assess the results of instrumentation techniques in the root canal. *J. Endod.* 1999;25(8):535-8.
4. Bramante C, Berbert A, Borges R. A methodology for evaluation of root canal instrumentation. *J Endod.* 1987;13(5):243-5.
5. Bryant S, Thompson SA, Al-Omari MA, Dummer PM. Shaping ability of profile rotatory nickel-titanium instruments with ISSO sized in simulated root canal. Part 1. *Int Endod J.* 1998;31(4):275-81.
6. Byström A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scand J Dent Res.* 1981;89(4):321-8.
7. Davis G, Wong F. X-ray microtomography of bone and teeth. *Physiol Meas.* 1996;17(3):121-46.
8. Davis SR, Brayton SM, Goldman M. The morphology of the prepared root canal: a study utilizing injectable silicone. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1972;34(4):457-61.
9. Dowker SE, Davis GR, Elliot JC. X-ray microtomography: nondestructive three-dimensional imaging for in vitro endodontic studies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1997;83(4):510-6.
10. Dummer PMH, Alodeh MHA, Doller R. Shaping of simulated root canal in resin blocks using files activated by sonic handpiece. *Int Endod J.* 1989;22(5):211-4.
11. Elliot JC, Dover SD. Three-dimensional distribution of mineral in bone at a resolution of 15 micron determined by X-ray microtomography. *Metab. Bone Dis Relat Res.* 1984;5:219-21.
12. Engelke K, et al. Micro-CT Technology and application for assessing bone structure. *Radiol.* 1999;39:3203-12.
13. Exposito PT, Cunningham CJ. A comparison of canal preparation with nickel-titanium and stainless steel instruments. *J Endod.* 1995;21(4):173-6.
14. Gambill M, Alder M, Del Rio CE. Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. *J Endod.* 1996;22(7):369-75.
15. Gluskin AH, Brown DC, Buchanan LS. A reconstructed computed tomography comparison of Ni-Ti rotatory GT files versus traditional instruments in canals shaped by novice operators. *Int Endod J.* 2001;34(7):476-84.
16. Harznedaroglu F, Ersev H, Odabaşı G, Yetkin B, Batur S, Aşçı S, İşsever H. Incidence of patent furcal accessory canals in permanent molars of a Turkish population. *Int Endod J.* 2003;36(8):515-9.
17. Hülsmann M, Gambal A, Bahr R. An improved technique for the evaluation of root canal preparation. *J Endod.* 1999;25(9):599-602.
18. Hülsmann M, Peters O, Dummer PMH. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endod Topics.* 2005;10:30-76.
19. Kerekes L, Tronstad L. Morphometric observations on the root canals human molars. *J. Endod.* 1977;3(3):114-8.
20. Kosa DA, Marshall G, Baumgartner JC. An analysis of canal centering using mechanical instrumentation techniques. *J Endod.* 1999;25(6):441-5.
21. Nielsen RB, Alyassin AM, Peters DD, Carnes DL, Lancaster J. Microcomputed tomography: an advanced system for detailed endodontic research. *J. Endod.* 1995;21(11):561-8.
22. Peters OA, Schönenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J.* 2001;34(3):221-30.
23. Peters OA, Laib A, Rügsegger P, Barbakow F. Three-dimensional analysis of root canal geometry by high resolution computed tomography. *J Dent Res.* 2000;79(6):1405-9.
24. Peters OA, Laib A, Göhring TN, Barbakow F. Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. *J. Endod.* 2001;27(1):1-6.
25. Peters OA, Peters CI, Schönenberger K, Barbakow F. Protaper rotatory root canal preparation effects of canal anatomy on final shape analysed by micro CT. *Int Endod J.* 2003;36(2):86-92.

26.Pettiette MT, Metzger Z, Phillips C, Trope M. Endodontic complications of root canal therapy performed by dental students with stainless-steel K-files and Nickel-Titanium hand files. *J Endod.* 1999;25(4):230-4.

27.Plotino G, Grande NM, Pecci R, Bedini R, Pameijer CH, Somma F. Three-dimensional imaging using microcomputed tomography for studying tooth macromorphology. *J Am Dent Assoc.* 2006;137(11):1555-61.

28.Rhodes JS, Pitt Ford TR, Lynch JA, Liepins PJ, Curtis RV. Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. *Int Endod J.* 1999;32 (3):165-70.

29.Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am.* 1974;18(2):269-296.

30.Sen B, Piskin B, Demirci T. Observation of the bacteria and fungi in infected root canals and dentinal tubules by SEM. *Endod Dent Traumatol.* 1995;11(1):6-9.

31.Short JA, Morgan LA, Baumgartner JC. A comparison of canal centering ability of four instrumentation techniques. *J Endod.* 1997;23(8):503-7.

32.Tachibana H, Matsumoto K. Applicability of X-ray computerized tomography in endodontics. *Endod Dental Traumatol.* 1990;6(1):16-20.

33.Tucker DM, Wenckus CS, Bentkover SK. Canal wall planning by engine-driven Nickel-Titanium instruments, compared with stainless-steel hand instrumentation. *J Endod.* 1997;23(3):170-3.

34.Weine F, Kelly R, Lio P. The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. *J Endod.* 1975;1(8):255-62.

35.Wu MK, Fan B, Wesselink P. Leakage along apical root fillings in curved root canals. Part I: Effects of apical transportation on seal of root. *J Endod.* 2000;26(4):210-6.