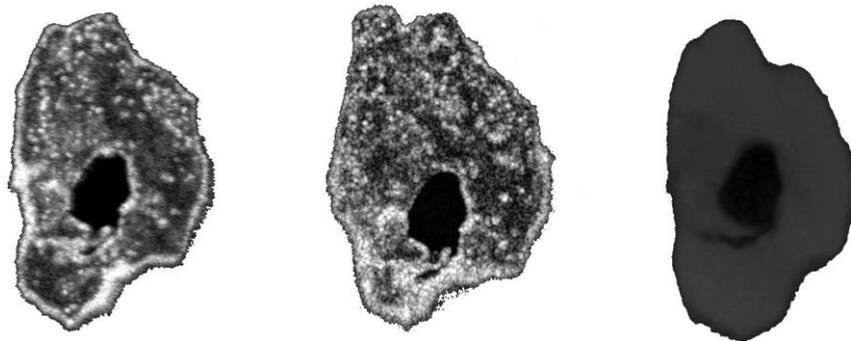




UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE PRÓTESE E CIRURGIA BUCO-FACIAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

BRUNA PALOMA DE OLIVEIRA

**DETECÇÃO DE MICROFISSURAS RADICULARES APICAIS:
um estudo por meio de tomografia por coerência óptica
e microtomografia computadorizada**



Recife
2019

BRUNA PALOMA DE OLIVEIRA

**DETECÇÃO DE MICROFISSURAS RADICULARES APICAIS:
um estudo por meio de tomografia por coerência óptica
e microtomografia computadorizada**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Odontologia.

Área de concentração: Clínica Integrada

Orientador: Prof. Dr. Carlos Menezes Aguiar.

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Andréa Cruz Câmara.

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Mônica Uchôa, CRB4-1010

O48d Oliveira, Bruna Paloma.

Detecção de microfissuras radiculares apicais: um estudo por meio de tomografia por coerência óptica e microtomografia computadorizada / Bruna Paloma Oliveira. – 2019.

125 f.: il.; 30 cm.

Orientador: Carlos Menezes Aguiar.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, CCS. Programa de Pós-graduação em Odontologia. Recife, 2019.

Inclui referências, apêndices e anexos.

1. Endodontia. 2. Fissuras dentárias. 3. Diagnóstico. 4. Tomografia por coerência óptica. 5. Microtomografia por raio x. I. Aguiar, Carlos Menezes (Orientador). II. Título.

617.6 CDD (22.ed.)

UFPE (CCS2019-049)

BRUNA PALOMA DE OLIVEIRA

DETECÇÃO DE MICROFISSURAS RADICULARES APICAIS: um estudo por meio de tomografia por coerência óptica e microtomografia computadorizada

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Odontologia.

Aprovada em: 22/02/2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Menezes Aguiar (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Anderson Stevens Leonidas Gomes (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Antonio Celso Dantas Antonino (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a Dr.^a Carla Cabral dos Santos Accioly Lins (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. José Thadeu Pinheiro (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Aos meus pais, Cleide e Oliveira,
os maiores incentivadores deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Seria impossível construir sozinha este trabalho.

Durante o período em que cursei o Doutorado tive o privilégio de contar com pessoas as quais gostaria de deixar os meus sinceros agradecimentos.

Inicio agradecendo a Deus por todas as oportunidades que me foram dadas desde o dia em que nasci. Obrigada por guiar todos os meus passos e permitir que este grande sonho se tornasse realidade.

Ao Prof. Dr. Carlos Menezes Aguiar e à Prof^a. Dr^a. Andréa Cruz Câmara, os melhores orientadores que eu poderia ter. Meus infinitos agradecimentos por todo o carinho, generosidade e dedicação que tiveram ao me prepararem Doutora. Vocês não me ensinaram apenas como fazer, vocês me deram asas para voar.

Aos professores Drs. Anderson Stevens Leonidas Gomes e Antonio Celso Dantas Antonino, com os quais pude aprender muito sobre humildade. Agradeço pela confiança que depositaram em mim, abrindo as portas e me recebendo com carinho nos laboratórios de Fotônica e Biofotônica, e de Física de Solos.

À equipe do laboratório de Física de Solos, em especial ao técnico Daniel Amancio Duarte. Agradeço pela grandiosa ajuda durante os escaneamentos de micro-CT, e pela amizade que construí com vocês, o que tornou as horas no laboratório muito mais prazerosas.

À Patricia Fernandes Cassimiro da Silva pelo auxílio durante a aquisição das imagens de OCT.

À Prof^a. Dr^a. Carla Cabral dos Santos Accioly Lins, responsável por ter descoberto e estimulado minhas potencialidades na pesquisa científica, ainda na graduação. Sempre procurei me espelhar nas suas qualidades. Por isso, serei grata eternamente pela sua presença em minha vida.

A toda a equipe do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal de Pernambuco pela oportunidade de realização desta etapa da minha formação acadêmica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela ajuda financeira necessária para realização do curso de Doutorado.

E a tantos outros que participaram de forma indireta na realização deste trabalho, muito obrigada!

RESUMO

Dentes que apresentam microfissuras radiculares são considerados um desafio de diagnóstico para os clínicos devido aos variáveis sinais e sintomas que podem apresentar. Além disso, os métodos de diagnóstico atualmente disponíveis apresentam diversas limitações em fornecer um diagnóstico definitivo para esses casos. Diversos fatores, incluindo os procedimentos de instrumentação do canal radicular, têm sido associados à formação de microfissuras dentinárias. Os estudos, entretanto, têm sido controversos com relação à incidência de microfissuras geradas pelo preparo de canais radiculares utilizando diferentes técnicas de instrumentação e comprimentos de trabalho. Diante do exposto, esta pesquisa teve como objetivo principal a detecção de microfissuras radiculares apicais por meio de imagens de tomografia por coerência óptica (OCT) e microtomografia computadorizada de raios X (micro-CT). Os objetivos específicos estabelecidos foram: 1) avaliar a performance de dois sistemas de OCT em detectar microfissuras dentinárias apicais; e 2) avaliar o efeito da instrumentação de canais radiculares com limas manuais, rotatórias e reciprocantes em diferentes comprimentos de trabalho sobre o desenvolvimento de microfissuras apicais por meio de imagens de micro-CT. Cento e vinte incisivos inferiores unirradiculares humanos foram selecionados. Para o estudo do primeiro objetivo específico, os canais radiculares de 20 desses espécimes foram instrumentados utilizando o instrumento Reciproc R40. A seguir, os elementos que apresentavam microfissuras na região apical da raiz foram identificados utilizando-se imagens de micro-CT como padrão-ouro. Na sequência, as porções apicais das raízes desses elementos foram escaneadas com os sistemas de OCT spectral-domain (SD-OCT) e swept-source (SS-OCT), e as imagens resultantes foram cegamente avaliadas por 3 examinadores para detectar microfissuras. A performance diagnóstica de cada dispositivo de OCT foi calculada e analisada estatisticamente. Por sua vez, para o estudo do segundo objetivo específico, 100 dos espécimes inicialmente selecionados foram divididos aleatoriamente em 10 grupos experimentais ($n = 10$) de acordo com os sistemas de instrumentação e com os comprimentos de trabalho utilizados para o preparo dos canais: instrumentos ProTaper Universal Manual, HyFlex CM, Reciproc, WaveOne Gold, e Unicore, trabalhando até o forame apical, e até 1 mm aquém do forame apical. Os dentes foram escaneados com a micro-CT antes e depois do preparo dos canais, e as

imagens geradas foram avaliadas visando detectar microfissuras dentinárias na porção apical das raízes. A partir dos resultados obtidos, foi possível verificar que: 1) as imagens geradas pelos sistemas de OCT testados foram capazes de mostrar linhas de microfissura no mesmo local exibido nas secções transversais de micro-CT correspondentes. Não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas entre os 2 dispositivos de OCT ($P > ,05$); e 2) todas as microfissuras dentinárias detectadas após o preparo dos canais radiculares, na verdade, já estavam presentes nas raízes antes da instrumentação, e nenhuma nova microfissura apical foi verificada. Pôde-se concluir que a performance de detecção verificada para ambos os sistemas de OCT avaliados torna-os promissoras ferramentas para o diagnóstico de microfissuras apicais. Adicionalmente, a instrumentação de canais radiculares utilizando sistemas manuais, rotatórios e reciprocantes, independentemente do comprimento de trabalho, não foi associada à formação de microfissuras radiculares apicais.

Palavras-chave: Endodontia. Fissuras dentárias. Diagnóstico. Tomografia por coerência óptica. Microtomografia por raio x.

ABSTRACT

Cracked teeth are considered a diagnostic challenge to clinicians due to the variable signs and symptoms that they can present. In addition, the currently available diagnostic methods have several limitations in providing a definitive diagnosis for these cases. Several factors, including root canal instrumentation, have been associated with the induction of dentinal microcracks. Reports from research data, however, have been inconsistent concerning the incidence of microcracks after root canal preparation using different instrumentation techniques and working lengths. In view of the above, this research had as main objective the detection of apical root microcracks through optical coherence tomography (OCT) and micro-computed tomography (micro-CT) images. The specific objectives defined were: 1) evaluate the ability of two OCT systems to detect apical dentinal microcracks; and 2) evaluate the effect of root canal instrumentation with hand, rotary and reciprocating files at different working lengths on the development of apical microcracks using micro-CT imaging. One hundred and twenty human single-rooted mandibular incisors were selected. For the study of the first specific objective, the root canals of 20 of these specimens were instrumented using the Reciproc R40 instrument, and the teeth presenting apical microcracks were identified by using micro-CT scanning as the gold standard. Then, the apical portions of the roots were imaged with the spectral-domain OCT (SD-OCT) and swept-source OCT (SS-OCT) systems, and the resulting images were blindly evaluated by 3 examiners to detect microcracks. Diagnostic performance of each OCT device was calculated, and statistical analysis was performed. For the study of the second specific objective, 100 of the initially selected specimens were randomly divided into 10 experimental groups ($n = 10$) according to the systems and working lengths used for the root canal preparation: ProTaper Universal for Hand Use, HyFlex CM, Reciproc, WaveOne Gold, and Unicone, working at apical foramen, and 1 mm short of the apical foramen. The teeth were imaged with micro-CT before and after root canal preparation, and the cross-section images generated were assessed to detect microcracks in the apical portion of the roots. From the obtained results, it was possible to verify that: 1) the images generated by the OCT systems were able to show microcrack lines at the same location as the corresponding micro-CT cross-sections. There were no statistically significant differences between the 2 OCT devices ($P > .05$); and 2) all dentinal

microcracks detected after root canal preparation were already present before instrumentation, and no new apical microcrack was visualized. It could be concluded that the detection ability verified for both OCT systems renders them promising tools for the diagnosis of apical microcracks. In addition, root canal shaping with hand, rotary, and reciprocating systems, regardless of the working length, did not produce apical microcracks.

Keywords: Endodontics. Dentinal cracks. Diagnosis. Optical coherence tomography. X-ray microtomography.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	22
3	METODOLOGIA	23
3.1	PARTE 1. AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DE DOIS SISTEMAS DE OCT EM DETECTAR MICROFISSURAS DENTINÁRIAS APICAIS	24
3.2	PARTE 2. AVALIAÇÃO DO EFEITO DA INSTRUMENTAÇÃO DE CANAIS RADICULARES COM LIMAS MANUAIS, ROTATÓRIAS E RECIPROCANES, EM DIFERENTES COMPRIMENTOS DE TRABALHO, SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE MICROFISSURAS APICAIS POR MEIO DE IMAGENS DE MICRO-CT	29
4	RESULTADOS	34
4.1	DETECÇÃO DE FISSURAS RADICULARES APICAIS UTILIZANDO TOMOGRAFIA POR COERÊNCIA ÓPTICA SPECTRAL-DOMAIN E SWEPT-SOURCE	34
4.1.1	Normas do Periódico Journal of Endodontics	47
4.2	ANÁLISE TOMOGRÁFICA MICROCOMPUTADORIZADA DE MICROFISSURAS APICAIS ANTES E APÓS O PREPARO DE CANAIS RADICULARES POR INSTRUMENTOS MANUAIS, ROTATÓRIOS E RECIPROCANES EM DIFERENTES COMPRIMENTOS DE TRABALHO.....	56
4.3	EFEITO DE SISTEMAS RECIPROCANES E COMPRIMENTOS DE TRABALHO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE MICROFISSURAS APICAIS: UM ESTUDO DE MICRO-CT	70
4.3.1	Normas do Periódico Brazilian Dental Journal	83
5	CONCLUSÕES	89
	REFERÊNCIAS	90

APÊNDICE A – ARTIGO “DETECTION OF APICAL ROOT CRACKS USING SPECTRAL-DOMAIN AND SWEEP-SOURCE OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY”	100
APÊNDICE B – ARTIGO “MICRO-COMPUTED TOMOGRAPHIC ANALYSIS OF APICAL MICROCRACKS BEFORE AND AFTER ROOT CANAL PREPARATION BY HAND, ROTARY AND RECIPROCATING INSTRUMENTS AT DIFFERENT WORKING LENGTHS”	104
APÊNDICE C – ARTIGO “EFFECT OF RECIPROCATING SYSTEMS AND WORKING LENGTHS ON APICAL MICROCRACK DEVELOPMENT: A MICRO-CT STUDY”	109
ANEXO A – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO PARA O ARTIGO 1 ...	114
ANEXO B – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO ARTIGOS 2 E 3	119

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a Endodontia tem passado por diversas evoluções em materiais, técnicas, equipamentos, design de instrumentos, e nos tipos de metais utilizados para a fabricação dos instrumentos endodônticos. Apesar dessas transformações, o principal objetivo do preparo biomecânico permanece inalterado desde que foi preconizado por Schilder (1974): remover do canal radicular os micro-organismos, tecido pulpar e detritos, bem como, alargar o diâmetro do canal para que ele possa receber um material obturador.

Tradicionalmente, o preparo de canais radiculares é realizado utilizando limas endodônticas de aço inoxidável manipuladas pela mão (MORTMAN et al., 2011). Contudo, tais instrumentos apresentam diversas limitações, principalmente, pouca flexibilidade, o que, muitas vezes, acaba levando a acidentes operatórios que comprometem o prognóstico do tratamento endodôntico, especialmente, em casos de canais curvos (HÜLSMANN et al., 2005; DE ALENCAR et al., 2010).

Os primeiros protótipos de limas manuais fabricadas utilizando uma liga de níquel-titânio (NiTi) foram propostos por WALIA et al. (1988). A utilização dessa liga para a confecção de instrumentos endodônticos ocorreu em razão das suas propriedades de memória de forma e superelasticidade (CIVJAN et al., 1975). Desde então, diversos avanços tecnológicos em ligas de NiTi têm proporcionado novos conceitos de design de instrumentos e técnicas de preparo do canal radicular (YOUNG et al., 2007).

O surgimento de instrumentos endodônticos de NiTi acionados a motor que atuam por movimento rotatório contínuo acabou transformando o tratamento do sistema de canais radiculares, uma vez que tais instrumentos são capazes de reduzir a fadiga do operador e o tempo necessário para a conclusão do preparo, bem como, minimizar os erros processuais em comparação com a instrumentação manual (PASQUALINI et al., 2008). Canais preparados com instrumentos rotatórios de NiTi apresentaram maior limpeza e melhor modelagem, além de menor retificação, transporte apical e perfurações do que aqueles preparados com instrumentos convencionais de aço inoxidável acionados manualmente (SONG et al., 2004; GUELZOW et al., 2005; RAMAZANI et al., 2016; SELVAKUMAR et al., 2016).

Desde a introdução dos instrumentos rotatórios de NiTi, um número crescente de sistemas rotatórios tem sido comercializado por vários fabricantes. Dentre eles, os sistemas ProTaper Universal (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) e HyFlex CM (Coltene-Whaledent, Allstetten, Suíça) merecem destaque.

O sistema ProTaper Universal compreende seis instrumentos, três de modelagem e três de acabamento, que apresentam secção transversal triangular convexa. Ele é um sistema classificado como de multiconicidade, uma vez que a conicidade dos instrumentos varia ao longo da sua parte ativa. O sistema ProTaper Universal Manual (Dentsply Maillefer) surgiu como uma alternativa ao ProTaper Universal rotatório. Ambos possuem as mesmas filosofias, indicações e sequência de utilização, entretanto, a versão manual apresenta menor custo de utilização, uma vez que dispensa o emprego de um motor (AGUIAR; CÂMARA, 2008).

Por sua vez, os instrumentos HyFlex CM são produzidos a partir de um novo tipo de fio de NiTi, o CM (memória controlada), que foi submetido a um tratamento termomecânico especial visando controlar a memória de forma do instrumento, resultando em maior flexibilidade (ZHAO et al., 2013). Esses instrumentos apresentam conicidade uniforme e secção transversal triangular simétrica com três bordas de corte (BÜRKLEIN et al., 2014).

Em 2008, uma nova técnica de instrumentação do canal radicular foi proposta por Yared. Esse autor preconizou o uso de um único instrumento de NiTi, realizando movimento reciprocante, para instrumentar todo o canal radicular. A utilização de uma única lima acabou simplificando a instrumentação e proporcionando uma técnica segura e eficaz para a modelagem do canal radicular (YARED, 2008; SALEH et al., 2015). O movimento reciprocante é caracterizado por uma peculiar oscilação do instrumento no sentido anti-horário (ação de corte) e sentido horário (liberação do instrumento). Presume-se que a utilização desse movimento é capaz de reduzir o risco de fratura por torção, uma vez que, oscilando, o instrumento não é submetido aos níveis de estresse provocados pelo movimento rotatório contínuo (YARED, 2008; PEDULLA et al., 2013a; FERREIRA et al., 2017).

Reciproc (VDW, Munique, Alemanha), WaveOne Gold (Dentsply Maillefer) e Unicone (Medin, Nové Město na Moravě, República Checa) são os principais exemplos de sistemas reciprocantes de lima única comercialmente disponíveis.

O instrumento Reciproc é fabricado a partir da liga de NiTi M-wire, a qual é desenvolvida por um tratamento térmico que proporciona maior flexibilidade e

resistência à fadiga cíclica em relação à liga de NiTi convencional (PEDULLA et al., 2013b; LOPES et al., 2013). Esse instrumento possui secção transversal em forma de S com lâminas de corte afiadas.

Durante a fabricação do WaveOne Gold, o instrumento é repetidamente tratado termicamente e resfriado, o que proporciona maior flexibilidade e resistência à fadiga cíclica e, além disso, dá à lima uma cor dourada. Esse instrumento apresenta secção transversal em forma de paralelogramo descentralizado (PÉDULA et al., 2017; VYVER et al., 2019).

Por sua vez, o instrumento Unicore possui secção transversal triangular convexa. De acordo com seu fabricante, esse instrumento é fabricado utilizando uma liga de níquel-titânio altamente flexível que apresenta vida útil prolongada devido a um tratamento especial (MAIA FILHO et al., 2015; SILVA et al., 2016a; ESPIR et al., 2018).

A completa limpeza e desinfecção da região apical do canal radicular é considerada um fator crucial para o sucesso do tratamento endodôntico (SIQUEIRA; RÔÇAS, 2008). No entanto, um consenso a respeito do limite ideal para o preparo apical ainda não foi alcançado. O limite apical (também denominado de comprimento de trabalho) para a instrumentação e obturação do canal radicular é considerado uma das grandes controvérsias do tratamento endodôntico (RICUCCI, 1998a; SOUZA et al., 2011; SILVA et al., 2016b; DE ARRUDA BITENCOURT et al., 2017).

Diferentes comprimentos de trabalho têm sido propostos. No entanto, a medida mais amplamente aceita é a de 1 milímetro aquém do ápice radicular (SOUZA, 2006). Os autores que defendem essa medida afirmam que a sua adoção minimiza o risco de agressões aos tecidos periapicais, uma vez que o canal cementário não será instrumentado (RICUCCI, 1998a; SCHAEFFER et al., 2005).

Contudo, para outros investigadores, o limite apical poderá variar de acordo com as condições que a polpa dentária e a região periapical se apresentarem no momento do tratamento endodôntico (WU et al., 2000).

Nos casos de polpas vitais inflamadas, os micro-organismos, geralmente, estão restritos à porção mais superficial da polpa coronária, enquanto que, o canal radicular, se encontra livre de infecção. Por esse motivo, alguns autores (RICUCCI, 1998b; WU et al., 2000) têm recomendado que, nesses casos, o comprimento de trabalho seja estabelecido entre 1 e 3 mm aquém do ápice radiográfico.

Por sua vez, nos casos de dentes com polpa necrosada, apresentando, ou não, lesão periapical, os micro-organismos já estão colonizando o interior do sistema de canais radiculares (BAUMGARTNER; FALKLER, 1991; WAYMAN et al., 1992). Por isso que, alguns autores (SJOGREN et al., 1990; WU et al., 2000) têm sugerido que, nesses casos, a instrumentação seja finalizada entre 0 a 2 mm aquém do ápice radiográfico.

Como foi possível perceber, as recomendações a respeito do limite apical do tratamento endodôntico, mencionadas anteriormente, são dadas a partir de um ponto de vista biológico. Ou seja, visando uma melhor desinfecção do sistema de canais radiculares e um melhor reparo dos tecidos periapicais. Contudo, atualmente, pouco se sabe sobre os efeitos que variações no comprimento de trabalho têm sobre o desenvolvimento de microfissuras dentinárias (ADORNO et al., 2009; ADORNO et al., 2010; ADORNO et al., 2011; LIU et al., 2013; DE ARRUDA BITENCOURT et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2017b; OLIVEIRA et al., 2017C).

Fraturas radiculares verticais são descritas por Walton et al. (1984) como um episódio clínico devastador que apresenta um mau prognóstico e que, frequentemente, requiere a exodontia do elemento dentário afetado. As fraturas radiculares verticais se estendem desde o canal radicular até o periodonto, levando a uma profunda e rápida destruição do osso alveolar de forma linear, adjacente à linha de fratura. Essa destruição óssea ocorre devido aos micro-organismos abrigados na fratura, os quais promovem uma inflamação nos tecidos adjacentes, impedindo a reparação, e exigindo a extração do elemento dentário ou a ressecção da raiz afetada (WALTON et al., 1984; WILCOX et al., 1997; TAMSE, et al., 2006; SIM et al., 2016).

Diversos fatores, incluindo trauma físico, maturidade oclusal, mastigação estressante repetitiva e reabsorção radicular podem ser considerados causais para o desenvolvimento de fraturas radiculares verticais (COHEN et al., 2003; LERTCHIRAKARN et al., 2003). Entretanto, a principal condição associada às raízes verticalmente fraturadas é o tratamento endodôntico prévio (GHER et al., 1987). Para se ter uma idéia, as fraturas radiculares verticais são consideradas a segunda causa mais comum para a perda de dentes tratados endodonticamente (CAPLAN; WEINTRAUB, 1997).

Uma fratura radicular ocorre quando a força de tensão exercida na parede do canal excede a resistência à tração da dentina (LAM et al., 2005). No entanto, como

existem poucos relatos de ocorrência de fratura radicular durante o tratamento endodôntico, considera-se que uma fratura radicular vertical seja o resultado final da propagação de uma microfissura dentinária (ADORNO et al., 2013).

Os procedimentos de modelagem do canal radicular envolvem a remoção da dentina radicular e, por isso, podem, inevitavelmente, comprometer a resistência das raízes (SATHORN et al., 2005). Adicionalmente, durante o preparo biomecânico, o canal é modelado através do contato entre os instrumentos endodônticos e as paredes dentinárias. Esse contato produz diversas concentrações momentâneas de estresse na dentina, as quais podem induzir o desenvolvimento de microfissuras dentinárias (WILCOX et al., 1997; BLUM et al., 1999).

A partir dos estudos de Bier et al. (2009) e Shemesh et al. (2009), a relação entre as microfissuras dentinárias e os procedimentos de instrumentação do canal radicular começou a receber muita atenção da comunidade endodôntica internacional (VERSIANI et al., 2015). Desde então, o preocupante fenômeno da indução de defeitos dentinários devido ao preparo biomecânico tem sido confirmado por várias investigações (ADORNO et al., 2009; ADORNO et al., 2010; ADORNO et al., 2011; YOLDAS et al., 2012; HIN et al., 2013; ABOU et al., 2014; ARSLAN et al., 2014; LI et al., 2015; MONGA et al., 2015; DANE et al., 2016; TOPÇUOĞLU et al., 2016; KFIR et al., 2017; PEDULLÀ et al., 2017; NISHAD et al., 2018).

Apesar das diversas vantagens clínicas, o uso dos instrumentos acionados a motor resulta em significativamente mais rotações dos instrumentos no interior do canal radicular (PASQUALINI et al., 2008). Essa característica pode resultar num maior atrito entre as limas e as paredes do canal radicular e, conseqüentemente, numa maior incidência de microfissuras dentinárias (BIER et al., 2009). Os estudos, entretanto, têm sido controversos com relação à incidência de microfissuras radiculares geradas após o preparo de canais utilizando instrumentos manuais, rotatórios e reciprocantes, o que, muitas vezes, acaba provocando dúvidas e incertezas nos profissionais que procuram por instrumentos mais seguros (OLIVEIRA et al., 2017b).

Especula-se que o uso de uma única lima recíprocante de grande conicidade, em vez de uma seqüência de instrumentos rotatórios para a instrumentação do canal radicular, resulta numa maior concentração de tensões nas paredes radiculares e, conseqüentemente, numa maior incidência de defeitos dentinários (BÜRKLEIN et al., 2013; LI et al., 2015). Por outro lado, também tem sido sugerido

que a contínua liberação da lima enquanto a mesma está instrumentando o canal radicular, proporcionada pelo movimento recíprocante, reduz as tensões que atuam sobre a dentina, resultando numa menor incidência de microfissuras dentinárias em relação aos instrumentos de rotação contínua (KANSAL et al., 2014; MONGA et al., 2015). Enquanto isso, embora investigações anteriores tenham verificado que a instrumentação utilizando limas manuais não produziu microfissuras dentinárias (BIER et al., 2009; YOLDAS et al., 2012; HIN et al., 2013); também foi relatado (ADORNO et al., 2010; ARIAS et al., 2014; HELVACIOGLU-YIGIT et al., 2015) que a incidência de defeitos dentinários gerados por sistemas rotatórios ou recíprocantes não diferiu da incidência verificada quando limas manuais foram utilizadas.

Um ponto crucial a respeito dos estudos publicados sobre esse tema é que a grande maioria deles se baseou no método de seccionamento radicular. Nesse método, após a instrumentação dos canais radiculares, os espécimes avaliados nos estudos são seccionados em vários níveis a partir do ápice, e as fatias resultantes são analisadas com um estereomicroscópio (BIER et al., 2009). A principal deficiência desse método é a impossibilidade de se avaliar de forma confiável defeitos previamente presentes na dentina radicular antes da instrumentação do canal (COELHO et al., 2016b). Além disso, os próprios procedimentos de seccionamento radicular podem acabar danificando a dentina, e induzindo a resultados falso-positivos (COELHO et al., 2016a).

Nos últimos anos, a microtomografia computadorizada de raios X (micro-CT) abriu novas possibilidades de pesquisas a respeito da temática das fraturas radiculares (VILLAS-BOAS et al., 2011; SOMMA et al., 2011; SIQUEIRA et al., 2013; DA ROSA et al., 2015; ELNOUR et al., 2016; SILVA et al., 2016c; DE LIMA ABOUD et al., 2018). Esse método de geração de imagem foi desenvolvido no início de 1980. O seu funcionamento baseia-se na convergência de um feixe de raios X com uma amostra, seguida pela detecção desses raios X por um detector. Por fim, os raios X detectados são convertidos em imagens digitais bi e tridimensionais de altíssima resolução (SWAIN; XUE, 2009; VERSIANI et al., 2011).

A micro-CT apresenta diversas vantagens em relação a outros métodos de geração de imagem utilizados na pesquisa endodôntica, tais como a estereomicroscopia, a microscopia eletrônica de varredura e a microscopia confocal a laser. Tais métodos podem ser utilizados para análises superficiais, contudo não são capazes de fornecer imagens de estruturas localizadas mais profundamente

sem o pré-requisito do corte das amostras. Por outro lado, a micro-CT é capaz de fornecer imagens bi e tridimensionais da estrutura interna de tecidos mineralizados sem a destruição da amostra (DRUKTEINIS et al., 2019). Ou seja, trata-se de um método não-destrutivo e não-invasivo, e que permite a utilização da mesma amostra para diferentes testes (NIELSEN et al., 1995). Outra vantagem da micro-CT é a possibilidade de manipulação das imagens utilizando um software específico.

Apesar dessas diversas vantagens, a micro-CT apresenta uma grande limitação, que é a impossibilidade de utilizá-la *in vivo* devido à intensidade da radiação necessária para a geração das imagens. Além disso, a micro-CT permite apenas a análise de amostras de tamanho reduzido, o que acaba restringindo algumas análises (MARCIANO et al., 2012).

Algumas aplicações da micro-CT em pesquisas endodônticas incluem a análise da anatomia interna dentária (VILLAS-BOAS et al., 2011; ELNOUR et al., 2016; RASHED et al., 2018), bem como, da instrumentação (CESARIO et al., 2018; DRUKTEINIS et al., 2019; VYVER et al., 2019), obturação (SOMMA et al., 2011; SILVA et al., 2016c), e retratamento do canal radicular (DA ROSA et al., 2015; RIVERA-PEÑA et al., 2018).

A micro-CT é um método de imagem altamente preciso que permite não somente a visualização de microfissuras dentinárias pré-existentes, mas também, a localização exata dessas microfissuras em toda a raiz, antes e após o preparo do canal. Desse modo, é possível indicar precisamente em qual região as microfissuras foram criadas e/ou propagadas, o que aumenta a validade interna do experimento, uma vez que cada amostra funciona como seu próprio controle (DE-DEUS et al., 2014; MARCELIANO-ALVES et al., 2015).

As técnicas convencionais de seccionamento radicular permitem a avaliação de apenas alguns cortes por dente, o que pode ocasionar a não visualização de diversos defeitos ao longo da raiz. Por outro lado, com a micro-CT, centenas de cortes do elemento podem ser analisados. Além disso, as imagens de micro-CT possuem uma resolução muito mais elevada do que as de estereomicroscopia (DE-DEUS et al., 2014).

Investigações anteriores utilizando a micro-CT também apresentaram resultados contraditórios com relação à associação entre microfissuras e os procedimentos de instrumentação do canal radicular. Enquanto os estudos de De-Deus et al. (2014, 2015), Lim et al. (2016) e Zuolo et al. (2017) indicaram uma falta

de relação causal entre microfissuras dentinárias e o preparo do canal radicular, seja através de instrumentos rotatórios ou reciprocantes; os estudos de Jamleh et al. (2014), Ceyhanlı et al. (2015) e Nishad et al. (2018) verificaram que sistemas de instrumentação rotatórios e reciprocantes foram capazes de provocar microfissuras dentinárias.

Portanto, mesmo com esse conjunto considerável de evidências acumuladas nos últimos anos, vários aspectos relacionados à indução de microfissuras dentinárias permanecem inconclusivos.

A detecção precoce das microfissuras dentinárias é fundamental para a prevenção da propagação e da infecção bacteriana dessas entidades (RIVERA; WALTON, 2008). Entretanto, dentes que possuem microfissuras se apresentam como um desafio para o clínico, uma vez que o seu diagnóstico é, muitas vezes, complicado devido aos variáveis sinais e sintomas apresentados, somados à dificuldade em se localizar as linhas de microfissura no elemento dentário (ELLIS, 2001; SIM et al., 2016). Os métodos atualmente disponíveis para diagnosticar dentes fissurados incluem radiografia, tomografia computadorizada de feixe cônico, transiluminação, sondagem periodontal, teste de mordida, coloração com azul de metileno, exploração cirúrgica e exame com microscópico operatório. Entretanto, todos eles apresentam limitações em fornecer de um diagnóstico (IMAI et al., 2012; FERREIRA et al., 2015).

A tomografia por coerência óptica (OCT) é uma tecnologia de diagnóstico por imagem que foi introduzida em 1991 (HUANG et al., 1991). Desde então, tornou-se uma ferramenta padrão em oftalmologia, e é um promissor método de imagem para a detecção de aterosclerose intracoronária (LAVINSKY et al., 2016; SU et al., 2016).

O princípio de geração de imagem da OCT é semelhante ao do ultra-som, contudo, este último utiliza ondas sonoras, e a OCT utiliza a emissão luz. Portanto, a OCT é, essencialmente, um tomógrafo óptico que combina os princípios de um ultra-som, com o desempenho de imagem de um microscópio (HUANG et al., 1991).

Essa tecnologia utiliza ondas de luz infravermelha que refletem e espalham dentro dos tecidos biológicos (SHEMESH et al., 2008). Desse modo, com o sistema de OCT não há necessidade de contato direto entre o aparelho e o tecido em estudo, uma vez que a luz pode passar facilmente através da interface ar-tecido (CHOO-SMITH et al., 2008).

A OCT foi mencionada pela primeira vez na literatura odontológica em 1998 (COLSTON et al., 1998). Desde então, diversos artigos foram publicados sobre os benefícios da OCT na odontologia. Esse método tem sido avaliado para a geração de imagens de lesões cariosas (SHIMADA et al., 2015), materiais dentários (BRAZ et al., 2011), estruturas periodontais (MOTA et al., 2015) e câncer bucal (HSIEH et al., 2013).

Como as imagens de OCT possuem a capacidade de detectar estruturas micrométricas, as aplicações dessa tecnologia na Endodontia têm sido estudadas (TODEA et al., 2009). A OCT torna-se uma promessa para fornecer aos clínicos um nível sem precedentes de resolução de imagem para auxiliar na avaliação *in vivo* da anatomia intracanal, da limpeza do canal após a instrumentação, e de perfurações (SHEMESH et al., 2007; RASHED et al., 2018). Além disso, essa tecnologia também se apresenta como um promissor método não invasivo e não destrutivo para o diagnóstico de microfissuras dentinárias (SHEMESH et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2017a). Contudo, as evidências permanecem insuficientes.

Como pôde-se perceber, o debate continua sobre qual o limite ideal para o preparo apical e qual a técnica de instrumentação mais segura com relação à indução de microfissuras dentinárias. Adicionalmente, um objetivo crucial na pesquisa endodôntica atualmente é a busca por um método de imagem mais confiável para o diagnóstico de microfissuras dentinárias.

2 OBJETIVOS

Esta pesquisa teve como objetivo geral detectar *in vitro* microfissuras radiculares apicais por meio de imagens de OCT e micro-CT.

Com essa finalidade, objetivou-se especificamente:

1. Avaliar a performance de dois sistemas de OCT (SD-OCT e SS-OCT) em detectar microfissuras dentinárias apicais; e

2. Avaliar o efeito da instrumentação de canais radiculares com limas manuais (ProTaper Universal Manual), rotatórias (HyFlex CM) e reciprocantes (Reciproc, WaveOne Gold, Unicone), em diferentes comprimentos de trabalho (até o forame apical, e até 1 mm aquém do forame apical), sobre o desenvolvimento de microfissuras dentinárias apicais utilizando imagens de micro-CT.

3 METODOLOGIA

Após a aprovação do presente estudo pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Pernambuco (CAAEs: 54963116.7.0000.5208 e 57109516.0.0000.5208 - Anexos A e B), foram obtidos, do Banco de Dentes Humanos da UFPE, incisivos inferiores unirradiculares humanos recentemente extraídos. Os espécimes foram extraídos por razões não relacionadas com este estudo e armazenados em água filtrada purificada até o momento do uso.

Tomadas radiográficas foram realizadas a partir dos planos vestibulolingual e mesiodistal. Em seguida, com o auxílio de um estereomicroscópio (Stemi 2000-C, Zeiss, São Paulo, Brasil), a superfície radicular externa dos espécimes foi inspecionada em ampliação de 12X. Foram selecionados, inicialmente, os incisivos inferiores que apresentavam raiz completamente formada, canal radicular único e reto, e que se encontravam livres de defeitos dentinários externos, fratura radicular, tratamento endodôntico prévio, cárie radicular, cálculo dentário, hipercementose, e reabsorção interna/externa.

Para assegurar a padronização, as coroas dos espécimes foram seccionadas a cerca de, aproximadamente, 13 mm do ápice utilizando uma serra de baixa velocidade (Isomet; Buehler Ltd, Lake Bluff, IL, EUA) sob refrigeração a água. Posteriormente, cada espécime teve o canal radicular explorado com uma lima tipo K 10# (Dentsply Maillefer). Os canais não patentes com uma lima tipo K #10 (Dentsply Maillefer) foram descartados. Utilizando esses critérios, 120 espécimes foram selecionados.

Subseqüentemente, visando a identificação e a manutenção da hidratação dos dentes no decorrer das etapas da pesquisa, os espécimes foram armazenados individualmente em tubos de polipropileno tipo Eppendorf (Kasvi, Curitiba, PR, Brasil) numerados sequencialmente, contendo 1 mL de água filtrada purificada (Figura 1).

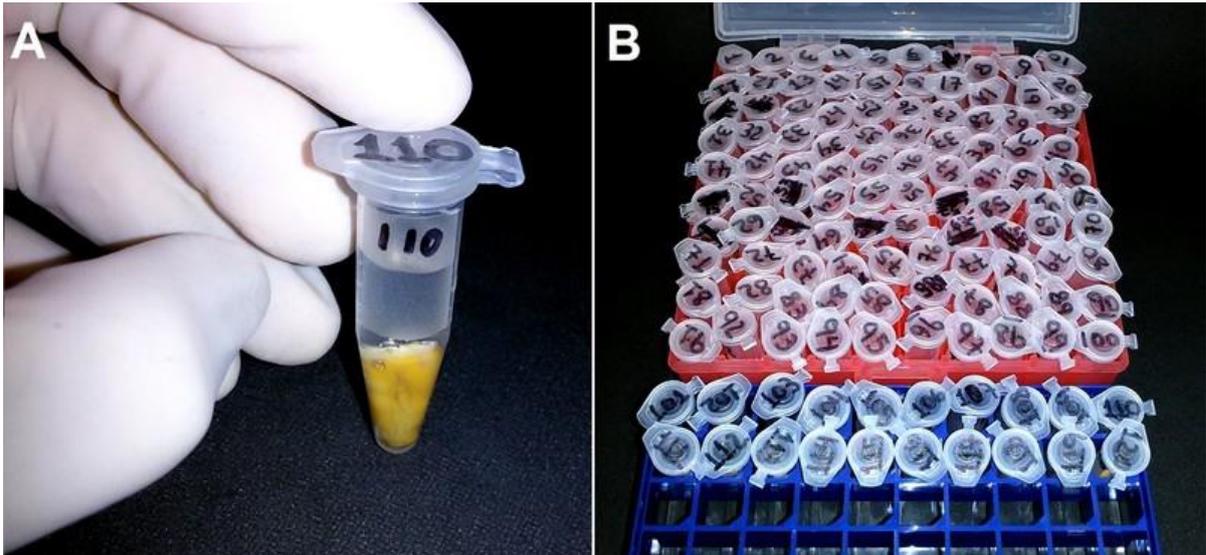


Figura 1. Armazenamento dos espécimes. (A) Espécime sem a coroa, identificado por um número sequencial e armazenado em um tubo de polipropileno tipo Eppendorf contendo água filtrada purificada; (B) Tubos Eppendorf dispostos sequencialmente em um suporte de plástico.

Delineamento Experimental

Para facilitar a compreensão das metodologias utilizadas no presente estudo, os procedimentos experimentais foram organizados em duas partes, de acordo com os objetivos específicos, a saber:

Parte 1. Avaliação da performance de dois sistemas de OCT em detectar microfissuras dentinárias apicais.

Parte 2. Avaliação do efeito da instrumentação de canais radiculares com limas manuais, rotatórias e reciprocantes, em diferentes comprimentos de trabalho, sobre o desenvolvimento de microfissuras apicais por meio de imagens de micro-CT.

3.1 PARTE 1. AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DE DOIS SISTEMAS DE OCT EM DETECTAR MICROFISSURAS DENTINÁRIAS APICAIS.

Seleção e Preparo das Amostras

Para esta etapa da pesquisa, foram utilizados 20, dos 120 espécimes selecionados inicialmente. Cada dente teve o canal radicular irrigado com 2 mL de hipoclorito de sódio a 1% (Farmácia Escola Carlos Dumont de Andrade, Recife, Brasil) utilizando-se uma seringa plástica descartável (Ultradent, South Jordan, UT, EUA) e uma agulha NaviTip de calibre 30 (Ultradent). O comprimento de trabalho foi então determinado através da introdução de uma lima tipo K 10# no canal até que ela atingisse o forame apical.

Em seguida, os canais radiculares foram preparados por um único operador utilizando o instrumento Reciproc R40 (40/0.06). O instrumento foi utilizado num lento movimento reciprocante de bicada para dentro e para fora até que o comprimento de trabalho fosse atingido. Após 3 movimentos de bicada, o instrumento era limpo e os canais eram irrigados. Cada canal foi com um total de 15 mL de hipoclorito de sódio a 1%. A irrigação final foi realizada utilizando 5 mL de água destilada. Cada instrumento foi utilizado para preparar apenas 4 canais, e operado com um motor de baixo torque (X-Smart Plus, Dentsply Maillefer) ajustado na programação Reciproc.

Escaneamentos de Micro-CT como Padrão-Ouro

Após o preparo biomecânico, os espécimes foram escaneados com a micro-CT como padrão-ouro. As imagens geradas foram analisadas por dois observadores para que os elementos que apresentassem microfissuras dentinárias na porção apical da raiz fossem identificados.

O tomógrafo de micro-CT utilizado para os escanemanetos foi o de modelo XTH225ST (Nikon, Japão), pertencente ao Laboratório de Física do Solo, do Departamento de Energia Nuclear da UFPE. Para os escaneamentos, foram utilizados 10 blocos de isopor de 40 mm de altura, 16 mm de largura e 16 mm de comprimento. Em cada bloco de isopor foram inseridos dois espécimes. Em seguida, cada bloco foi acomodado individualmente na plataforma rotatória do sistema de micro-CT, de modo que o feixe de raios X pudesse atravessar perpendicular o longo eixo das raízes (Figura 2).



Figura 2. Escaneamentos de micro-CT. (A) Tomógrafo modelo XTH225ST. (B) Espécimes inseridos no bloco de isopor. (C) Bloco de isopor acomodado na plataforma rotatória do sistema de micro-CT.

Os parâmetros de exposição foram ajustados em: resolução isotrópica de 9 μm , tensão de 49 kV e corrente de 139 μA (HUANG et al., 2014). Os escaneamentos foram realizados com uma rotação de 360° ao redor do eixo vertical com passo de rotação de $0,12^\circ$. Para reduzir os artefatos de anel e minimizar o efeito de endurecimento do feixe, uma calibração de ar do detector foi realizada antes dos escaneamentos.

As imagens de cada espécime foram reconstruídas com o software CT Pro 3D v.XT3.1.3 (Nikon Metrology NV). Em seguida, o software VGStudio MAX[®] v.2.2 foi utilizado para suavizar as imagens através da aplicação do filtro de Gauss, e fornecer secções transversais da estrutura interna das raízes. Esse processo resultou em 100 cortes para cada milímetro de espécime escaneado.

Escaneamentos com os Sistemas de OCT

A etapa seguinte consistiu no escaneamento da porção apical das raízes utilizando os dois sistemas de OCT testados: o spectral-domain (SD-OCT, Callisto, Thorlabs, Newton, Nova Jersey, EUA) e o swept-source (SS-OCT, OCS1300SS, Thorlabs), pertencentes ao Laboratório de Fotônica e Biofotônica, do Departamento de Física da UFPE (Figura 3).

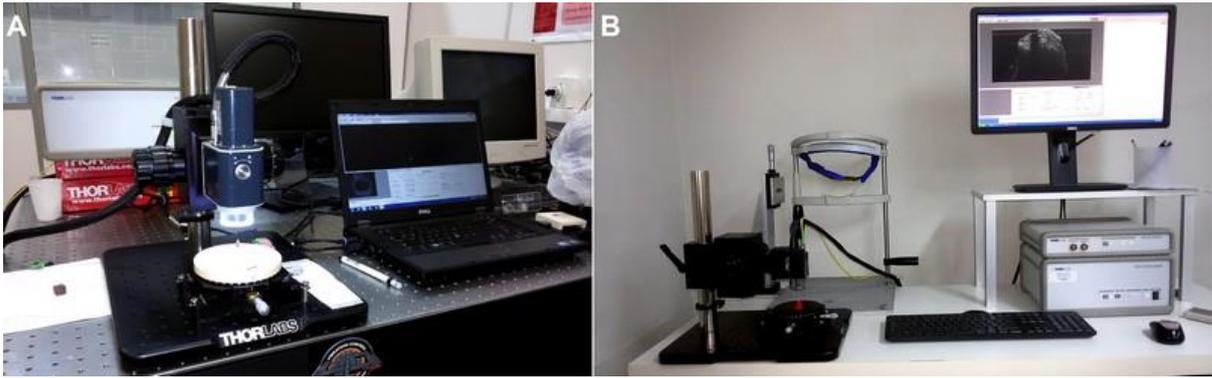


Figura 3. Sistemas de OCT. (A) Spectral-domain. (B) Swept-source.

Para a geração de imagem, os dispositivos de OCT produzem um padrão de interferência através da divisão do feixe da fonte de luz em 2 caminhos: braço de referência e braço de amostra. Após a varredura da área de interesse, a luz retroespalhada da amostra é recombinada com a luz do braço de referência e, em seguida, digitalizada e analisada no domínio de Fourier para fornecer imagens bi e tridimensionais (MAJKUT et al., 2015).

Durante os escaneamentos, massa de modelar foi utilizada para manter as raízes imóveis, de forma que o feixe de luz de varredura dos sistemas de OCT permanecesse orientado paralelamente ao longo eixo dos dentes, acima do ápice radicular (Figura 4).

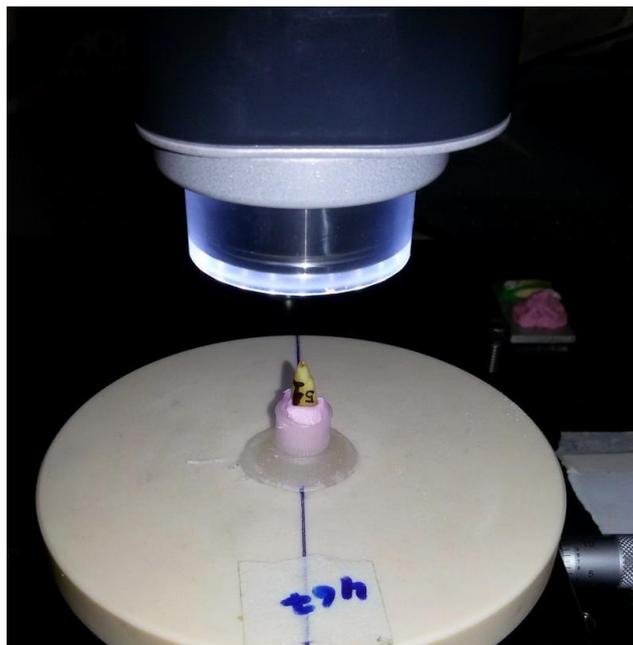


Figura 4. Feixe de luz de varredura do sistema de OCT orientado paralelamente ao longo eixo do espécime.

O sistema SD-OCT usa como fonte de luz um diodo superluminescente com um comprimento de onda central de 930 nm, taxa de varrimento axial de 1,2 kHz, largura de banda espectral de 100 nm, e potência de saída máxima de 5 mW. As imagens geradas por esse sistema apresentam uma resolução lateral de 8 μm , e uma resolução axial de 7 μm no ar, que é igual a 5,3 μm no tecido. Dois quadros são capturados por segundo, e a profundidade de máxima imagem é de aproximadamente 1,7 mm.

Por sua vez, o sistema SS-OCT incorpora um laser sintonizável como fonte de luz que varre repetidamente o comprimento de onda central de 1325 nm a uma taxa de varredura axial de 16 kHz, largura de banda espectral > 100 nm e potência de saída média \approx 10mW. Com relação à capacidade de imagem, esse sistema captura 25 quadros por segundo, com resolução lateral de 25 μm , e resolução axial de 12 μm no ar, que é igual a 9 μm no tecido. A profundidade máxima da imagem é de aproximadamente 3 mm.

Um software de processamento de imagem (ImageJ, v.1.48, National Institutes of Health, Bethesda, MD, EUA) foi utilizado para gerar imagens de seção transversal das raízes. Esse processo resultou em cerca de 170 cortes por milímetro de espécime escaneado.

Avaliação de Microfissuras

Três examinadores independentes avaliaram cegamente as imagens de OCT ($n = 10.880$) obtidas dos 1,6 mm da porção apical das raízes. Os examinadores eram especialistas em Endodontia, previamente treinados com imagens de OCT geradas a partir de dentes que não foram incluídos na amostra do estudo. Cada examinador registrou a presença ou ausência de microfissuras nos dentes de acordo com uma escala de 5 pontos como segue: 1, definitivamente ausente; 2, provavelmente ausente; 3, incerto; 4, provavelmente presente; e 5, definitivamente presente. As imagens foram reavaliadas após um intervalo de 4 semanas.

Análise Estatística

Para a análise estatística, os resultados obtidos a partir da avaliação de microfissuras com as imagens do SD-OCT e do SS-OCT foram comparados com o padrão-ouro (micro-CT). A sensibilidade, especificidade, valor preditivo positivo (VPP), valor preditivo negativo (VPN) e a acurácia foram determinados para cada sistema de OCT, e analisados pelo Teste Exato de Fisher. Além disso, a curva de

características de operação do receptor (ROC) foi calculada, e as áreas sob as curvas ROC (AUC) foram comparadas utilizando o Teste DeLong.

Para avaliar a concordância interexaminadores e intraexaminadores, foi utilizado o Teste Kappa Ponderado (concordância deficiente, 0,19; concordância razoável, 0,20-0,39; concordância moderada, 0,40-0,59; concordância substancial, 0,60-0,79; e concordância quase perfeita, 0,80-1,00) (LANDIS; KOCH, 1977).

Os dados foram analisados utilizando os programas SPSS v.23 (SPSS Inc, Chicago, IL) e MedCalc para Windows v.14.8.1 (MedCalc Software BVBA, Ostend, Bélgica). O nível de significância foi de 5%.

3.2 PARTE 2. AVALIAÇÃO DO EFEITO DA INSTRUMENTAÇÃO DE CANAIS RADICULARES COM LIMAS MANUAIS, ROTATÓRIAS E RECÍPROCANTES, EM DIFERENTES COMPRIMENTOS DE TRABALHO, SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE MICROFISSURAS APICAIS POR MEIO DE IMAGENS DE MICRO-CT.

Para esta etapa da pesquisa, foram utilizados 100, do 120 espécimes selecionados no início.

Escaneamento Microtomográfico Inicial

Inicialmente, foram obtidas imagens microtomográficas prévias aos procedimentos de instrumentação. Para isso, os espécimes foram escaneados utilizando a micro-CT (XTH225ST, Nikon) a uma resolução isotrópica de 14 μm (DE-DEUS et al., 2014).

Para os escaneamentos, foram utilizados blocos de isopor de 15 mm de altura, 26,6 mm de largura e 26,6 mm de comprimento. Em cada bloco de isopor foram inseridos três espécimes. Em seguida, cada bloco foi montado individualmente na plataforma rotatória do sistema de micro-CT de modo que o feixe de raios X permanecesse perpendicular ao longo eixo das raízes.

Os raios X foram gerados a 70 kV e 114 μA , e filtrados com um filtro de alumínio de 1 mm de espessura. Uma calibração de ar do detector foi realizada antes dos escaneamentos para reduzir os artefatos de anel e minimizar o efeito de endurecimento do feixe.

As imagens de cada espécime foram reconstruídas com o programa CT Pro 3D v.XT3.1.3. O software VGStudio MAX[®] v.2.2 foi utilizado para suavizar as

imagens por meio da aplicação do filtro de Gauss, e para fornecer cortes transversais da estrutura interna das raízes. Esse processo resultou em cerca de 71 cortes para cada milímetro de espécime escaneado.

Grupos Experimentais

Os dentes foram numerados e divididos aleatoriamente em 10 grupos experimentais ($n = 10$) de acordo com a técnica e com o comprimento de trabalho utilizado para a instrumentação dos canais radiculares. Instrumentos manuais, rotatórios e reciprocantes foram testados: ProTaper Universal Manual, HyFlex CM, Reciproc, WaveOne Gold e Unicore. As instrumentações foram finalizadas em diferentes níveis: FA, instrumentação finalizada no FA; e FA-1 mm, instrumentação finalizada 1 mm aquém do FA. Como segue:

- GRUPO 1: ProTaper Universal Manual (FA)
- GRUPO 2: ProTaper Universal Manual (FA - 1mm)
- GRUPO 3: HyFlex CM (FA)
- GRUPO 4: HyFlex CM (FA - 1mm)
- GRUPO 5: Reciproc (FA)
- GRUPO 6: Reciproc (FA - 1mm)
- GRUPO 7: WaveOne Gold (FA)
- GRUPO 8: WaveOne Gold (FA - 1mm)
- GRUPO 9: Unicore (FA)
- GRUPO 10: Unicore (FA - 1mm)

Preparo dos Canais Radiculares

A distância entre o ponto de referência e o forame apical das raízes foi determinada através da inserção de uma lima tipo K 10# no canal até que a ponta da lima se tornasse visível no FA. Para simular o ligamento periodontal e o osso alveolar, as superfícies das raízes foram revestidas por uma fina película de material de impressão à base de silicone (Perfil; Coltene-Whaledent), e embebidas em resina acrílica num tubo de ensaio de acrílico (VIPI, Pirassununga, São Paulo, Brasil) (ARSLAN et al., 2014) (Figura 5).

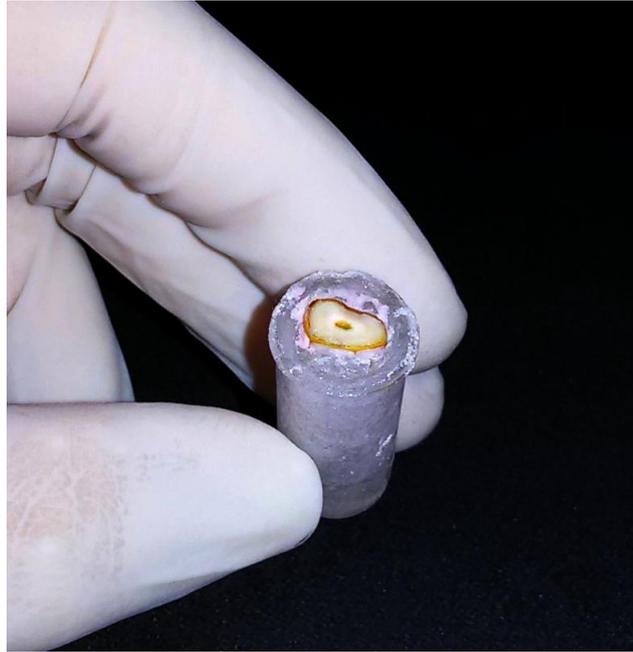


Figura 5. Simulação do ligamento periodontal e osso alveolar. Raiz revestida por fina película de material de impressão à base de silicone e embebida em resina acrílica.

O glide path foi realizado utilizando uma lima tipo K 15# (Dentsply Maillefer) até o comprimento de trabalho. Os canais radiculares foram então instrumentados de acordo com as instruções do fabricante de cada sistema, da seguinte forma:

Grupos 1 e 2 – ProTaper Universal Manual

A sequência de utilização dos instrumentos ProTaper Universal Manual foi: inicialmente, o instrumento Sx preparou a porção coronária do canal e, posteriormente, os instrumentos S1, S2, F1, e F2 (25/0.08) foram utilizados até o comprimento de trabalho ser atingido.

Grupos 3 e 4 - HyFlex CM

Os instrumentos HyFlex CM foram empregados numa sequência coroa-ápice utilizando: instrumento 25/0.08 (dois terços do comprimento de trabalho), e instrumentos 20/0.04, e 25/0.04 (no comprimento de trabalho total).

Grupos 5 e 6 - Reciproc

O instrumento Reciproc R25 (25/0.08) foi utilizado num movimento lento de bicada de aproximadamente 3 mm de amplitude com uma leve pressão apical. As espiras do instrumento foram limpas a cada 3 movimentos de bicada. Esses

procedimentos foram repetidos até que o comprimento de trabalho fosse alcançado pelo instrumento.

Grupos 7 e 8 – WaveOne Gold

O instrumento WaveOne Gold Primary (25/0.07) foi utilizado num movimento lento de bicada de aproximadamente 3 mm de amplitude com uma leve pressão apical. As espiras do instrumento foram limpas a cada 3 movimentos de bicada. Esses procedimentos foram repetidos até que o comprimento de trabalho fosse alcançado pelo instrumento.

Grupos 9 e 10 - Unicore

O instrumento Unicore (25/0.06) foi utilizado num movimento lento de bicada de aproximadamente 3 mm de amplitude com uma leve pressão apical. As espiras do instrumento foram limpas a cada 3 movimentos de bicada. Esses procedimentos foram repetidos até que o comprimento de trabalho fosse alcançado pelo instrumento.

Todos os instrumentos rotatórios e reciprocantes foram operados utilizando um motor de baixo torque (X-Smart Plus). Os instrumentos HyFlex CM foram utilizados com uma velocidade de rotação de 500 rpm e 2,5 N/cm de torque. Para o instrumento Reciproc, o motor foi definido no programa Reciproc. E para os instrumentos WaveOne Gold e Unicore a programação do motor utilizada foi a WaveOne.

Todas as instrumentações foram realizadas por um único operador, e cada instrumento foi utilizado para preparar apenas 4 canais. Resina composta foi utilizada para fixar os cursores de borracha e evitar que os mesmos se deslocassem durante a instrumentação. A irrigação foi realizada utilizando um total de 15 mL de hipoclorito de sódio a 1% por canal, administrados utilizando uma seringa plástica descartável e uma agulha NaviTip de calibre 30 após a utilização de cada instrumento ou após 3 movimentos de bicada. A irrigação final foi realizada utilizando 5 mL de água destilada.

Escaneamento Microtomográfico Final

Após as instrumentações, os espécimes foram escaneados novamente com a micro-CT (escaneamentos de pós-instrumentação) utilizando os mesmos parâmetros aplicados no escaneamento microtomográfico inicial.

Avaliação de Microfissuras

As secções transversais de micro-CT geradas antes e após a instrumentação dos canais radiculares ($n = 57.200$) foram cegamente avaliadas por três examinadores, que eram especialistas em Endodontia, para detectar a presença de microfissuras nos 4 mm da porção apical das raízes. Uma microfissura foi definida como qualquer fissura incompleta (linha que se estendia da parede do canal até a dentina sem atingir a superfície externa da raiz), fissura completa (linha que se estendia da parede do canal radicular para a superfície externa), ou linha rachada (outras linhas que não atingiam nenhuma superfície da raiz, ou se estendiam da superfície externa para a dentina, mas não atingiam a parede do canal) observada na dentina radicular (BÜRKLEIN et al., 2013).

Se uma linha de microfissura fosse detectada na imagem de pós-instrumentação, a imagem de pré-instrumentação correspondente era inspecionada para verificar a pré-existência de um defeito dentinário (DE-DEUS et al., 2014). As imagens foram reavaliadas após um intervalo de 4 semanas. Em caso de discrepância entre as observações, os cortes eram examinados novamente e os examinadores discutiam os resultados até que um acordo fosse alcançado.

Destino dos elementos dentários

Após o término do experimento, os elementos dentários foram devolvidos ao Banco de Dentes Humanos da Universidade Federal de Pernambuco.

4 RESULTADOS

4.1 DETECÇÃO DE FISSURAS RADICULARES APICAIS UTILIZANDO TOMOGRAFIA POR COERÊNCIA ÓPTICA SPECTRAL-DOMAIN E SWEPT-SOURCE

Resumo

Introdução: Este estudo teve como objetivo avaliar a habilidade de 2 sistemas de tomografia por coerência óptica (OCT) em detectar microfissuras dentinárias apicais.

Métodos: Foram selecionados 20 incisivos inferiores unirradiculares humanos extraídos. Após a instrumentação dos canais radiculares utilizando o instrumento Reciproc R40, os espécimes que apresentavam microfissuras apicais foram identificados utilizando-se a microtomografia computada (micro-CT) como padrão-ouro. Em seguida, as porções apicais das raízes foram escaneadas com os sistemas de OCT spectral-domain (SD-OCT) e swept-source (SS-OCT), e as imagens resultantes foram cegamente avaliadas por 3 examinadores independentes para detectar microfissuras. A performance diagnóstica de cada dispositivo de OCT foi calculada e a análise estatística foi realizada. **Resultados:** Com base nas imagens de micro-CT, 12 (60%) raízes apresentavam microfissuras dentinárias na região apical. As imagens geradas pelos sistemas de OCT foram capazes de mostrar linhas de fissura no mesmo local que as secções transversais de micro-CT correspondentes. Embora a performance diagnóstica do SD-OCT tenha sido superior, não houve diferenças estatisticamente significativas entre os 2 dispositivos de OCT ($P > ,05$). A concordância interexaminadores foi substancial a quase perfeita para o SD-OCT, e moderada a quase perfeita para o SS-OCT, enquanto a concordância intraexaminadores foi substancial a quase perfeita para ambos os dispositivos de OCT. **Conclusões:** A habilidade de detecção verificada para ambos os sistemas de OCT torna-os promissoras ferramentas para o diagnóstico de microfissuras apicais.

Palavras-chave

Tomografia por coerência óptica, microtomografia computadorizada, canal radicular, fissura dentinária, diagnóstico, Reciproc

Importância

Os atuais métodos disponíveis para diagnosticar dentes fissurados são limitados em fornecer um diagnóstico definitivo. Este estudo mostrou que ambos os sistemas de OCT testados têm potencial para se tornarem poderosas ferramentas para o diagnóstico de microfissuras dentinárias.

Introdução

As fissuras dentinárias se apresentam como uma condição específica que pode influenciar a sobrevivência em longo prazo do dente afetado (1). Clinicamente, os micro-organismos podem se proliferar nas linhas de fissura levando ao estabelecimento de biofilme na superfície radicular (2). Adicionalmente, fraturas radiculares verticais podem ocorrer devido à propagação de microfissuras (3). Assim, o diagnóstico precoce das microfissuras dentinárias é fundamental para prevenir complicações (4).

No entanto, os dentes fissurados são considerados um desafio diagnóstico para os clínicos devido aos variáveis sinais e sintomas apresentados, adicionado à dificuldade de se localizar as linhas de fissura (1, 5). Os métodos atualmente disponíveis para diagnosticar dentes fissurados incluem radiografia, tomografia computadorizada de feixe cônico, transiluminação, sondagem periodontal, teste de mordida, coloração com azul de metileno, exploração cirúrgica e exame com microscópico operatório. Entretanto, todos eles são limitados em fornecer um diagnóstico definitivo (6, 7). Assim, um objetivo crucial na pesquisa endodôntica é a busca por um método mais confiável para o diagnóstico de microfissuras dentinárias.

A tomografia por coerência óptica (OCT) é um método de imagem não invasivo que permite a obtenção de imagens de alta resolução de tecidos biológicos internos (8). Essa tecnologia funciona de forma semelhante ao ultra-som, mas emprega luz em vez de som de alta frequência (9), e é atualmente utilizada em várias aplicações clínicas, tais como na oftalmologia (10), cardiologia (11) e dermatologia (12). Na odontologia, a OCT tem sido proposta como uma poderosa ferramenta para avaliar cáries (13), materiais dentários (14), estruturas periodontais (15) e câncer bucal (16). Sua aplicação ao campo da Endodontia também tem sido estudada, demonstrando a capacidade de avaliar a anatomia do canal radicular e áreas não limpas após a instrumentação do canal (17).

Alguns estudos analisaram o uso da OCT para o diagnóstico de fraturas radiculares (18, 19), sugerindo a possibilidade de aplicação dessa tecnologia na prática clínica. Contudo, as evidências permanecem insuficientes. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a habilidade de dois sistemas de OCT em detectar microfissuras dentinárias na porção apical de dentes humanos extraídos.

Materiais e Métodos

Seleção e Preparação das Amostras

Após a aprovação do comitê de ética (Universidade Federal de Pernambuco, protocolo número 1.575.380), foram selecionados 20 incisivos inferiores unirradiculares humanos que não apresentassem ápices abertos, tratamento endodôntico prévio, cálculo dentário, hipercemenose, reabsorção interna/externa e cáries radiculares. Os espécimes foram extraídos por razões não relacionadas a este estudo e armazenados em água filtrada purificada até o uso.

Inicialmente, as coroas dos dentes foram removidas utilizando uma serra de baixa velocidade (Isomet, Buehler Ltd, Lake Bluff, IL) sob refrigeração com água. O comprimento de trabalho foi determinado através da introdução de uma lima tipo K 10# (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) no canal até que ela atingisse o forame apical. Os canais radiculares foram então preparados utilizando o instrumento Reciproc R40 (40/0.06) (VDW, Munique, Alemanha). O instrumento foi utilizado num lento movimento recíprocante de bicada para dentro e para fora até que o comprimento de trabalho fosse atingido. Após 3 movimentos de bicada, as flautas do instrumento eram limpas e os canais eram irrigados. Cada canal foi irrigado utilizando uma seringa e uma agulha de calibre 30 com um total de 15 mL de hipoclorito de sódio a 1%. A irrigação final foi realizada utilizando 5 mL de água destilada. Cada instrumento foi utilizado para preparar somente 4 canais e operado com um motor de baixo torque (X-Smart Plus, Dentsply Maillefer) ajustado na programação Reciproc. Um único operador realizou todas as instrumentações.

Escaneamentos de Micro-CT como Padrão-Ouro

Após o preparo biomecânico, os espécimes apresentando microfissuras dentinárias na porção apical das raízes foram identificados por dois observadores utilizando a micro-CT (XTH225ST, Nikon, Japão) como padrão-ouro. Os parâmetros de exposição foram ajustados em resolução isotrópica de 9 µm, tensão de 49 kV e

corrente de 139 μA (20). Cada raiz foi montada na plataforma rotatória controlada por computador do sistema de micro-CT de modo que o feixe de raios X permanecesse perpendicular ao longo eixo da raiz. Os escaneamentos foram realizados com uma rotação de 360° ao redor do eixo vertical com um passo de rotação de $0,12^\circ$. Para reduzir os artefatos de anel e minimizar o efeito de endurecimento do feixe, uma calibração de ar do detector foi realizada antes dos escaneamentos. As imagens de cada espécime foram reconstruídas com o software CT Pro 3D v.XT3.1.3 (Nikon Metrology NV). Em seguida, o software VGStudio MAX[®] v.2.2 foi utilizado para suavizar as imagens através da aplicação do filtro de Gauss, e fornecer secções transversais da estrutura interna das raízes.

Escaneamentos com os Sistemas de OCT

Subsequentemente, a porção apical das raízes foi escaneada utilizando dois sistemas de OCT: OCT Spectral-Domain (SD-OCT, Callisto, Thorlabs, Newton, Nova Jersey, EUA) e OCT Swept-Source (SS-OCT, OCS1300SS, Thorlabs).

Para a geração de imagem, os dispositivos de OCT produzem um padrão de interferência através da divisão do feixe da fonte de luz em 2 caminhos: braço de referência e braço de amostra. Após a varredura da área de interesse, a luz retrodispersada da amostra é recombinada com a luz do braço de referência, digitalizada e depois analisada no domínio de Fourier para fornecer imagens bi (2D) e tridimensionais (3D) (21). Neste estudo, o feixe de luz de varredura dos sistemas de OCT foi orientado paralelamente ao longo eixo dos dentes, acima do ápice radicular.

O sistema SD-OCT utiliza como fonte de luz um diodo superluminescente com um comprimento de onda central de 930 nm, taxa de varrimento axial de 1,2 kHz, largura de banda espectral de 100 nm, e potência de saída máxima de 5 mW. As imagens geradas por esse sistema apresentam uma resolução lateral de 8 μm , e uma resolução axial de 7 μm no ar, que é igual a 5,3 μm no tecido. Dois quadros são capturados por segundo, e a profundidade de máxima imagem é de, aproximadamente, 1,7 mm.

O sistema SS-OCT incorpora um laser sintonizável como fonte de luz que varre repetidamente o comprimento de onda central de 1325 nm a uma taxa de varredura axial de 16 kHz, largura de banda espectral > 100 nm e potência de saída média $\approx 10\text{mW}$. Com relação à capacidade de imagem, esse sistema captura 25

quadros por segundo, com resolução lateral de 25 μm , e resolução axial de 12 μm no ar, que é igual a 9 μm no tecido. A profundidade máxima da imagem é de, aproximadamente, 3 mm.

Um software de processamento de imagem (ImageJ, v.1.48, National Institutes of Health, Bethesda, MD, EUA) foi utilizado para gerar imagens de secção transversal das raízes.

Avaliação de Microfissuras

Três examinadores independentes avaliaram cegamente as imagens transversais de OCT ($n = 10.880$) obtidas dos 1,6 mm da porção apical das raízes. Os examinadores eram especialistas em Endodontia previamente treinados com imagens de OCT geradas a partir de dentes que não foram incluídos na amostra do estudo. Cada examinador registrou a presença ou ausência de microfissuras nos dentes de acordo com uma escala de 5 pontos como segue: 1, definitivamente ausente; 2, provavelmente ausente; 3, incerto; 4, provavelmente presente; e 5, definitivamente presente. As imagens foram reavaliadas após um intervalo de 4 semanas.

Análise Estatística

Para a análise estatística, os resultados obtidos a partir da avaliação de microfissuras com as imagens do SD-OCT e do SS-OCT foram comparados com o padrão-ouro (micro-CT). A sensibilidade, especificidade, valor preditivo positivo (VPP), valor preditivo negativo (VPN) e a acurácia foram determinados para cada sistema de OCT e analisados pelo Teste Exato de Fisher. Além disso, a curva de características de operação do receptor (ROC) e as áreas sob as curvas ROC (AUC) foram comparadas utilizando o Teste DeLong.

Para avaliar a concordância interexaminadores e intraexaminadores, foi utilizado o Teste Kappa Ponderado (concordância deficiente, 0,19; concordância razoável, 0,20-0,39; concordância moderada, 0,40-0,59; concordância substancial, 0,60-0,79; e concordância quase perfeita, 0,80-1,00) (22).

Os dados foram analisados utilizando os programas SPSS v.23 (SPSS Inc, Chicago, IL) e MedCalc para Windows v.14.8.1 (MedCalc Software BVBA, Ostend, Bélgica). O nível de significância foi de 5%.

Resultados

Com base nas imagens de micro-CT, verificou-se que 12 (60%) raízes apresentavam microfissuras dentinárias na região apical.

As imagens de secção transversal produzidas pelos escaneamentos de micro-CT, SD-OCT e SS-OCT são mostradas na Figura 1. As imagens geradas pelos sistemas de OCT foram capazes de mostrar linhas de microfissura na mesma localização que as secções transversais de micro CT correspondentes. As linhas de microfissura foram observadas nas imagens de micro-CT como uma linha escura (seta, Fig. 1A), enquanto que nos sistemas de OCT as linhas de microfissura foram apresentadas como uma fenda separando a dentina (setas, Figuras 1B e 1C), igualmente escura, cercada por uma área branca.

A Tabela 1 mostra os valores da sensibilidade, especificidade, VPP, VPN, acurácia e área sob a curva ROC de cada dispositivo de OCT. O SD-OCT apresentou superior performance diagnóstica para todos os parâmetros avaliados, porém não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os 2 sistemas de OCT ($P > ,05$).

Os valores de Kappa para o SD-OCT e SS-OCT são apresentados na Tabela 2. Pode-se verificar que a concordância interexaminadores foi substancial a quase perfeito para o SD-OCT, e moderado a quase perfeito para SS-OCT. O acordo intraexaminadores foi substancial a quase perfeito para ambos os dispositivos de OCT.

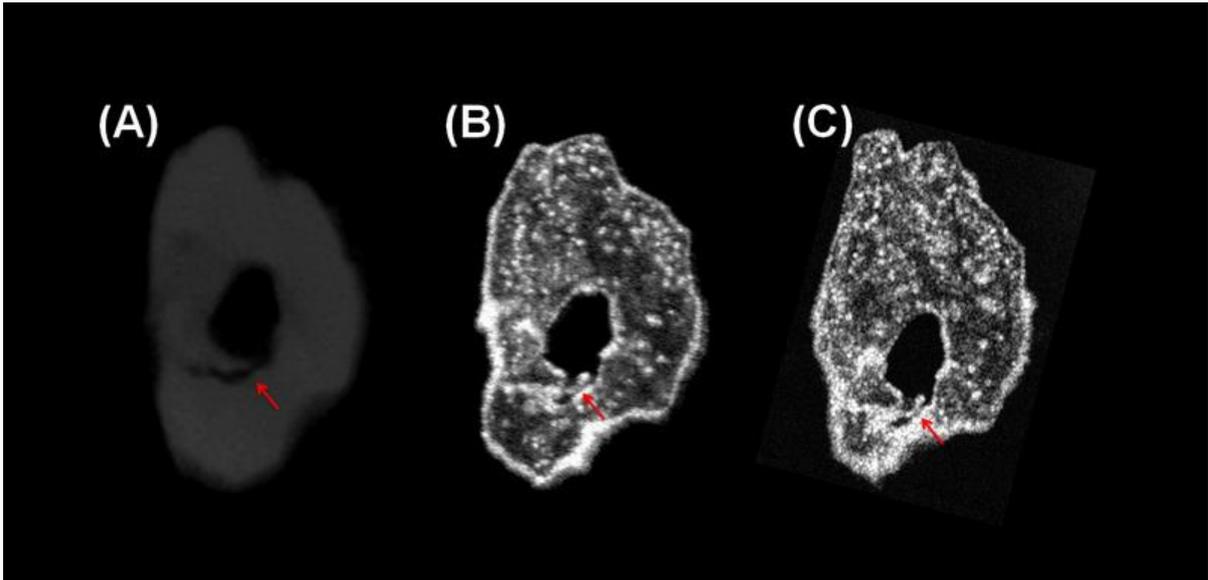


Figura 1. Imagens de cortes de secção transversal representativas obtidas de um incisivo inferior através de: (A) micro-CT, (B) SD-OCT e (C) SS-OCT. A linha de fissura é indicada pelas setas.

Tabela 1. Performance diagnóstica do SD-OCT e SS-OCT

	Sensibilidade	Especificidade	VPP	VPN	Acurácia	AUC
SD-OCT	0,917	0,875	0,917	0,875	0,900	0,964
SS-OCT	0,833	0,750	0,833	0,750	0,800	0,833

AUC, área sob a curva característica de operação do receptor; VPN, valor preditivo negativo; VPP, valor preditivo positivo; SD-OCT, tomografia por coerência óptica spectral-domain; SS-OCT, tomografia por coerência óptica swept-source.

Tabela 2. Valores de Kappa Ponderado (intervalos de confiança de 95%) para as concordâncias interexaminadores e intraexaminadores para a SD-OCT e SS-OCT

Examiner		1	2	3
SD-OCT	1	0,89 (0,79-0,99)	0,88 (0,79-0,97)	0,83 (0,66-1,00)
	2		0,88 (0,79-0,97)	0,89 (0,76-1,00)
	3			0,94 (0,87-1,00)
SS-OCT	1	0,92 (0,83-1,00)	0,67 (0,46-0,88)	0,76 (0,55-0,97)
	2		0,88 (0,78-0,98)	0,84 (0,71-0,97)
	3			0,85 (0,71-0,99)

Discussão

OCT é um valioso método de imagem não invasivo para a obtenção de imagens de secção transversal de estruturas biológicas (8). No campo da Endodontia, a detecção de um segundo canal méso-vestibular em molares superiores (23), o exame de fraturas coronárias e radiculares (6, 9, 18, 19, 24), e a análise do complexo dentino-pulpar (21, 25) utilizando alguns dispositivos de OCT já foi explorado.

Para o conhecimento dos autores, o presente trabalho é o primeiro a avaliar o uso do SD-OCT e SS-OCT como ferramentas de diagnóstico para a detecção de microfissuras apicais. Dado que fratura radicular é uma condição que ocorre principalmente em dentes tratados endodonticamente (26), neste estudo, os canais radiculares foram preparados com a lima Reciproc R40 para permitir o exame de fissuras apicais em dentes instrumentados. Os escaneamentos de micro-CT e OCT foram realizados somente após as instrumentações, pois o foco deste estudo não foi avaliar a incidência de microfissuras apicais causadas pelo preparo biomecânico.

A presente investigação demonstrou que ambos os sistemas de OCT testados foram capazes de fornecer imagens nítidas da região apical e, assim, mostrar microfissuras apicais na mesma localização que as secções transversais de micro-CT correspondentes. O SS-OCT utilizado aqui possui um comprimento de onda mais longo em relação ao SD-OCT, permitindo uma visualização mais profunda das estruturas radiculares. Além disso, o dispositivo SS-OCT possui um processamento de imagem mais rápido, o que representa uma característica importante em um cenário clínico. No entanto, essa rápida taxa de aquisição de imagens do SS-OCT, combinada com limitações intrínsecas à sua fonte de luz e outras características físicas, acaba fornecendo imagens de resolução mais baixas do que as do SD-OCT utilizado neste estudo (15). Desta forma, o superior desempenho diagnóstico e a maior concordância interexaminadores obtidos com o SD-OCT podem ser resultado da melhor resolução de imagem proporcionada por esse dispositivo. Entretanto, não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas entre os dois sistemas de OCT.

De um modo geral, na OCT, quando a luz incidente é refletida entre dois meios com diferentes índices de refração (por exemplo, ar/água presentes numa fissura e a dentina circundante), um brilho intensificado é visualizado nas imagens

de OCT correspondentes (9). Os poucos estudos relatados que detectaram fissuras dentinárias utilizando dispositivos de OCT (6, 9, 19, 24) verificaram que as linhas de fissura são, geralmente, apresentadas como linhas brilhantes. Em nosso estudo, as linhas de microfissura foram apresentadas como uma fenda separando a dentina, mostradas como uma linha escura na imagem, freqüentemente cercada por uma área branca (Fig. 1). A principal razão que pode explicar esta aparente discrepância é a orientação do feixe de luz de varredura dos sistemas de OCT em relação ao longo eixo dos dentes (9, 13, 27). Nos estudos indicados acima, o feixe de luz do OCT foi orientado perpendicularmente ao longo eixo dos dentes, passando, portanto, através de interfaces com diferentes índices de refração. Por outro lado, no presente estudo, o feixe de luz dos sistemas de OCT foi orientado paralelamente ao longo eixo dos dentes, acima do ápice radicular. Neste caso, a luz se propaga ao longo da dentina (espalhamento branco na imagem) e ao longo do ar/água (região escura na imagem), e não atravessa qualquer interface, conseqüentemente, efeitos de interferência não são gerados.

Apesar da aceitável acurácia verificada para o SD-OCT e SS-OCT neste cenário *in vitro*, o uso clínico desses dispositivos é atualmente limitado devido à rasa penetração de luz, uma profundidade de apenas alguns milímetros. Conseqüentemente, a aplicação *in vivo* destas ferramentas para o diagnóstico de microfissuras dentinárias seria condicionada à exposição da raiz por intervenção cirúrgica. Além disso, uma peça de mão adequada e barata também precisa ser desenvolvida para permitir a utilização da OCT em todas as áreas anatômicas da cavidade oral (15). Portanto, novos desenvolvimentos tecnológicos são necessários para assegurar a popularização clínica dessa tecnologia.

A grande maioria dos estudos que avaliaram a incidência de fissuras dentinárias após o preparo biomecânico do canal radicular empregou uma serra para seccionar as raízes a diferentes níveis do ápice, a fim de investigar as linhas de fratura nas fatias resultantes (28-30). Esse método de seccionamento possui algumas deficiências que podem induzir resultados falso-positivos, uma vez que fissuras dentinárias podem ser geradas devido aos procedimentos de corte dos dentes. Além disso, defeitos dentinários pré-existentes podem não ser detectados antes do preparo do canal (31, 32). Como a OCT é um método diagnóstico de imagem não destrutivo, não invasivo, de alta resolução, não radioativo e quase em tempo real, essa tecnologia também pode ser útil como uma alternativa ao método

de seccionamento radicular. Outros estudos podem ser realizados analisando a presença de microfissuras apicais antes e após o preparo do canal radicular utilizando imagens de OCT.

Dentro das limitações deste estudo *in vitro*, concluiu-se que a habilidade de detecção verificada para ambos os sistemas de OCT torna-os promissoras ferramentas para o diagnóstico de microfissuras apicais.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Patrícia F Cassimiro da Silva por sua ajuda com os escaneamentos de OCT.

Este estudo foi apoiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — CAPES — Brasil.

Os autores negam qualquer conflito de interesse relacionado a este estudo.

Referências

1. Sim IG, Lim TS, Krishnaswamy G, et al. Decision Making for Retention of Endodontically Treated Posterior Cracked Teeth: A 5-year Follow-up Study. J Endod 2016;42:225-9.
2. Shen Y, Stojicic S, Haapasalo M. Antimicrobial efficacy of chlorhexidine against bacteria in biofilms at different stages of development. J Endod 2011;37:657-61.
3. Wilcox LR, Roskelley C, Sutton T. The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture. J Endod 1997;23:533-4.
4. Rivera EM, Walton RE. Cracking the cracked tooth code: Detection and treatment of various longitudinal tooth fractures. American Association of Endodontists. Colleagues for Excellence, Newsletter, Summer; 2008
5. Ellis G. Incomplete tooth fracture-proposal for a new definition. Br Dent J 2001;190:424-8.
6. Imai K, Shimada Y, Sadr A, et al. Noninvasive cross-sectional visualization of enamel cracks by optical coherence tomography in vitro. J Endod 2012;38:1269-74.
7. Ferreira LM, Visconti MA, Nascimento HA, et al. Influence of CBCT enhancement filters on diagnosis of vertical root fractures: a simulation study in endodontically

treated teeth with and without intracanal posts. *Dentomaxillofac Radiol* 2015;44:20140352.

8. Huang D, Swanson EA, Lin CP, et al. Optical coherence tomography. *Science* 1991;254:1178-81.

9. Nakajima Y, Shimada Y, Miyashin M, et al. Noninvasive cross-sectional imaging of incomplete crown fractures (cracks) using swept-source optical coherence tomography. *Int Endod J* 2012;45:933-41.

10. Lavinsky F, Lavinsky D. Novel perspectives on swept-source optical coherence tomography. *Int J Retina Vitreous* 2016;2:25.

11. Su MI, Chen CY, Yeh HI, et al. Concise Review of Optical Coherence Tomography in Clinical Practice. *Acta Cardiol Sin* 2016;32:381-6.

12. Cao T, Tey HL. High-definition optical coherence tomography - an aid to clinical practice and research in dermatology. *J Dtsch Dermatol Ges* 2015;13:886-90.

13. Shimada Y, Sadr A, Sumi Y, et al. Application of Optical Coherence Tomography (OCT) for Diagnosis of Caries, Cracks, and Defects of Restorations. *Curr Oral Health Rep* 2015;2:73-80.

14. Braz AK, Aguiar CM, Gomes AS. Evaluation of the integrity of dental sealants by optical coherence tomography. *Dent Mater* 2011;27:e60-4.

15. Mota CC, Fernandes LO, Cimões R, et al. Non-Invasive Periodontal Probing Through Fourier-Domain Optical Coherence Tomography. *J Periodontol* 2015;86:1087-94.

16. Hsieh YS¹, Ho YC, Lee SY, et al. Dental optical coherence tomography. *Sensors (Basel)* 2013;13:8928-49.

17. Shemesh H, Soest GV, Wu M, et al. The ability of optical coherence tomography to characterize the root canals wall. *J Endod* 2007;33:1369-73.

18. Shemesh H, Soest GV, Wu M, et al. Diagnosis of vertical root fractures with optical coherence tomography. *J Endod* 2008;34:739-42.

19. Yoshioka T, Sakaue H, Ishimura H, et al. Detection of root surface fractures with swept-source optical coherence tomography (SS-OCT). *Photomed Laser Surg* 2013;31:23-7.
20. Huang CC, Chang YC, Chuang MC, et al. Analysis of the width of vertical root fracture in endodontically treated teeth by 2 micro-computed tomography systems. *J Endod* 2014;40:698-702.
21. Majkut P, Sadr A, Shimada Y, et al. Validation of Optical Coherence Tomography against Micro-computed Tomography for Evaluation of Remaining Coronal Dentin Thickness. *J Endod* 2015;41:1349-52.
22. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 1977;33:159-74.
23. Iino Y, Ebihara A, Yoshioka T, et al. Detection of a second mesiobuccal canal in maxillary molars by swept-source optical coherence tomography. *J Endod* 2014;40:1865-8.
24. Lee SH, Lee JJ, Chung HJ, et al. Dental optical coherence tomography: new potential diagnostic system for cracked-tooth syndrome. *Surg Radiol Anat* 2016;38:49-54.
25. Braz AK, Kyotoku BB, Gomes AS. In vitro tomographic image of human pulp-dentin complex: optical coherence tomography and histology. *J Endod* 2009;35:1218-21.
26. Bürklein S, Tsotsis P, Schäfer E. Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation. *J Endod* 2013;39:501-4.
27. Bista B, Sadr A, Nazari A, et al. Nondestructive assessment of current one-step self-etch dental adhesives using optical coherence tomography. *J Biomed Opt* 2013;18:76020.
28. Karataş E, Gündüz HA, Kırıcı DÖ, et al. Dentinal crack formation during root canal preparations by the twisted file adaptive, ProTaper Next, ProTaper Universal, and WaveOne instruments. *J Endod* 2015;41:261-4.

29. Dane A, Capar ID, Arslan H, et al. Effect of Different Torque Settings on Crack Formation in Root Dentin. *J Endod* 2016;42:304-6.
30. Li SH, Lu Y, Song D, et al. Occurrence of Dentinal Microcracks in Severely Curved Root Canals with ProTaper Universal, WaveOne, and ProTaper Next File Systems. *J Endod* 2015;41:1875-9.
31. De-Deus G, Belladonna FG, Souza EM, et al. Micro-computed Tomographic Assessment on the Effect of ProTaper Next and Twisted File Adaptive Systems on Dentinal Cracks. *J Endod* 2015;41:1116-9.
32. Coelho MS, Card SJ, Tawil PZ. Light-emitting Diode Assessment of Dentinal Defects after Root Canal Preparation with Profile, TRUShape, and WaveOne Gold Systems. *J Endod* 2016;42:1393-6.

4.1.1 Normas do Periódico Journal of Endodontics

Guidelines for Publishing Papers in the JOE

Writing an effective article is a challenging assignment. The following guidelines are provided to assist authors in submitting manuscripts.

The *JOE* publishes original and review articles related to the scientific and applied aspects of endodontics. Moreover, the *JOE* has a diverse readership that includes full-time clinicians, full-time academicians, residents, students and scientists. Effective communication with this diverse readership requires careful attention to writing style.

General Points on Composition

Organization of Original Research Manuscripts

Manuscripts Category Classifications and Requirements

Available Resources

1. General Points on Composition

1. Authors are strongly encouraged to analyze their final draft with both software (e.g., spelling and grammar programs) and colleagues who have expertise in English grammar. References listed at the end of this section provide a more extensive review of rules of English grammar and guidelines for writing a scientific article. Always remember that clarity is the most important feature of scientific writing. Scientific articles must be clear and precise in their content and concise in their delivery since their purpose is to inform the reader. The Editor reserves the right to edit all manuscripts or to reject those manuscripts that lack clarity or precision, or have unacceptable grammar or syntax. The following list represents common errors in manuscripts submitted to the *JOE*:
2. The paragraph is the ideal unit of organization. Paragraphs typically start with an introductory sentence that is followed by sentences that describe additional detail or examples. The last sentence of the paragraph provides conclusions and forms a transition to the next paragraph. Common problems include one-sentence paragraphs, sentences that do not develop the theme of the paragraph (see also section “c” below), or sentences with little to no transition within a paragraph.
3. Keep to the point. The subject of the sentence should support the subject of the paragraph. For example, the introduction of authors' names in a sentence

changes the subject and lengthens the text. In a paragraph on sodium hypochlorite, the sentence, "In 1983, Langeland et al., reported that sodium hypochlorite acts as a lubricating factor during instrumentation and helps to flush debris from the root canals" can be edited to: "Sodium hypochlorite acts as a lubricant during instrumentation and as a vehicle for flushing the generated debris (Langeland et al., 1983)." In this example, the paragraph's subject is sodium hypochlorite and sentences should focus on this subject.

4. Sentences are stronger when written in the active voice, *i.e.*, the subject performs the action. Passive sentences are identified by the use of passive verbs such as "was," "were," "could," etc. For example: "Dexamethasone was found in this study to be a factor that was associated with reduced inflammation," can be edited to: "Our results demonstrated that dexamethasone reduced inflammation." Sentences written in a direct and active voice are generally more powerful and shorter than sentences written in the passive voice.

5. Reduce verbiage. Short sentences are easier to understand. The inclusion of unnecessary words is often associated with the use of a passive voice, a lack of focus or run-on sentences. This is not to imply that all sentences need be short or even the same length. Indeed, variation in sentence structure and length often helps to maintain reader interest. However, make all words count. A more formal way of stating this point is that the use of subordinate clauses adds variety and information when constructing a paragraph. (This section was written deliberately with sentences of varying length to illustrate this point.)

6. Use parallel construction to express related ideas. For example, the sentence, "Formerly, endodontics was taught by hand instrumentation, while now rotary instrumentation is the common method," can be edited to "Formerly, endodontics was taught using hand instrumentation; now it is commonly taught using rotary instrumentation." The use of parallel construction in sentences simply means that similar ideas are expressed in similar ways, and this helps the reader recognize that the ideas are related.

7. Keep modifying phrases close to the word that they modify. This is a common problem in complex sentences that may confuse the reader. For example, the statement, "Accordingly, when conclusions are drawn from the results of this

study, caution must be used,” can be edited to “Caution must be used when conclusions are drawn from the results of this study.”

8. To summarize these points, effective sentences are clear and precise, and often are short, simple and focused on one key point that supports the paragraph’s theme.

9. Authors should be aware that the *JOE* uses iThenticate, plagiarism detection software, to assure originality and integrity of material published in the *Journal*. The use of copied sentences, even when present within quotation marks, is highly discouraged. Instead, the information of the original research should be expressed by new manuscript author’s own words, and a proper citation given at the end of the sentence. Plagiarism will not be tolerated and manuscripts will be rejected, or papers withdrawn after publication based on unethical actions by the authors. In addition, authors may be sanctioned for future publication.

2. Organization of Original Research Manuscripts

Please Note: All abstracts should be organized into sections that start with a one-word title (in bold), i.e., *Introduction, Methods, Results, Conclusions, etc.*, and should not exceed more than 250 words in length.

1. Title Page: The title should describe the major emphasis of the paper. It should be as short as possible without loss of clarity. Remember that the title is your advertising billboard—it represents your major opportunity to solicit readers to spend the time to read your paper. It is best not to use abbreviations in the title since this may lead to imprecise coding by electronic citation programs such as PubMed (e.g., use “sodium hypochlorite” rather than NaOCl). The author list must conform to published standards on authorship (see authorship criteria in the Uniform Requirements for Manuscripts Submitted to Biomedical Journals at www.icmje.org). The manuscript title, name and address (including email) of one author designated as the corresponding author. This author will be responsible for editing proofs and ordering reprints when applicable. The contribution of each author should also be highlighted in the cover letter.

2. Abstract: The abstract should concisely describe the purpose of the study, the hypothesis, methods, major findings and conclusions. The abstract should describe the new contributions made by this study. The word limitations (250 words) and the wide distribution of the abstract (e.g., PubMed) make this section

challenging to write clearly. This section often is written last by many authors since they can draw on the rest of the manuscript. Write the abstract in past tense since the study has been completed. Three to ten keywords should be listed below the abstract.

3. Introduction: The introduction should briefly review the pertinent literature in order to identify the gap in knowledge that the study is intended to address and the limitations of previous studies in the area. The purpose of the study, the tested hypothesis and its scope should be clearly described. Authors should realize that this section of the paper is their primary opportunity to establish communication with the diverse readership of the *JOE*. Readers who are not expert in the topic of the manuscript are likely to skip the paper if the introduction fails to succinctly summarize the gap in knowledge that the study addresses. It is important to note that many successful manuscripts require no more than a few paragraphs to accomplish these goals. Therefore, authors should refrain from performing extensive review of the literature, and discussing the results of the study in this section.

4. Materials and Methods: The objective of the materials and methods section is to permit other investigators to repeat your experiments. The four components to this section are the detailed description of the materials used and their components, the experimental design, the procedures employed, and the statistical tests used to analyze the results. The vast majority of manuscripts should cite prior studies using similar methods and succinctly describe the essential aspects used in the present study. Thus, the reader should still be able to understand the method used in the experimental approach and concentration of the main reagents (e.g., antibodies, drugs, etc.) even when citing a previously published method. The inclusion of a “methods figure” will be rejected unless the procedure is novel and requires an illustration for comprehension. If the method is novel, then the authors should carefully describe the method and include validation experiments. If the study utilized a **commercial product**, the manuscript must state that they either followed manufacturer’s protocol *or* specify any changes made to the protocol. If the study used an ***in vitro* model** to simulate a clinical outcome, the authors must describe experiments made to validate the model, or previous literature that proved the clinical relevance of the model. Studies on **humans** must conform to the Helsinki Declaration of 1975 and state

that the institutional IRB/equivalent committee(s) approved the protocol and that informed consent was obtained after the risks and benefits of participation were described to the subjects or patients recruited. Studies involving **animals** must state that the institutional animal care and use committee approved the protocol. The statistical analysis section should describe which tests were used to analyze which dependent measures; p-values should be specified. Additional details may include randomization scheme, stratification (if any), power analysis as a basis for sample size computation, drop-outs from clinical trials, the effects of important confounding variables, and bivariate versus multivariate analysis.

5. Results: Only experimental results are appropriate in this section (*i.e.*, neither methods, discussion, nor conclusions should be in this section). Include only those data that are critical for the study, as defined by the aim(s). Do not include all available data without justification; any repetitive findings will be rejected from publication. All Figures, Charts and Tables should be described in their order of numbering with a brief description of the major findings. Author may consider the use of supplemental figures, tables or video clips that will be published online. Supplemental material is often used to provide additional information or control experiments that support the results section (*e.g.*, microarray data).

6. Figures: There are two general types of figures. The first type of figures includes photographs, radiographs or micrographs. Include only essential figures, and even if essential, the use of composite figures containing several panels of photographs is encouraged. For example, most photo-, radio- or micrographs take up one column-width, or about 185 mm wide X 185 mm tall. If instead, you construct a two columns-width figure (*i.e.*, about 175 mm wide X 125 mm high when published in the *JOE*), you would be able to place about 12 panels of photomicrographs (or radiographs, etc.) as an array of four columns across and three rows down (with each panel about 40 X 40 mm). This will require some editing to emphasize the most important feature of each photomicrograph, but it greatly increases the total number of illustrations that you can present in your paper. Remember that each panel must be clearly identified with a letter (*e.g.*, "A," "B," etc.), in order for the reader to understand each individual panel. Several nice examples of composite figures are seen in recent articles by Jeger et al (J Endod 2012;38:884–888); Olivieri et al., (J Endod 2012;38:1007–1011); Tsai et al (J Endod 2012;38:965–970). Please note that color figures may be published at no

cost to the authors and authors are encouraged to use color to enhance the value of the illustration. Please note that a multipanel, composite figure only counts as one figure when considering the total number of figures in a manuscript (see section 3, below, for maximum number of allowable figures).

The second type of figures are graphs (*i.e.*, line drawings including bar graphs) that plot a dependent measure (on the Y axis) as a function of an independent measure (usually plotted on the X axis). Examples include a graph depicting pain scores over time, etc. Graphs should be used when the overall trend of the results are more important than the exact numerical values of the results. For example, a graph is a convenient way of reporting that an ibuprofen-treated group reported less pain than a placebo group over the first 24 hours, but was the same as the placebo group for the next 96 hours. In this case, the trend of the results is the primary finding; the actual pain scores are not as critical as the relative differences between the NSAID and placebo groups.

7. Tables: Tables are appropriate when it is critical to present exact numerical values. However, not all results need be placed in either a table or figure. For example, the following table may not be necessary:

% NaOCl	N/Group	% Inhibition of Growth
0.001	5	0
0.003	5	0
0.01	5	0
0.03	5	0
0.1	5	100
0.3	5	100

1	5	100
3	5	100

Instead, the results could simply state that there was no inhibition of growth from 0.001-0.03% NaOCl, and a 100% inhibition of growth from 0.03-3% NaOCl (N=5/group). Similarly, if the results are not significant, then it is probably not necessary to include the results in either a table or as a figure. These and many other suggestions on figure and table construction are described in additional detail in Day (1998).

8. Discussion: This section should be used to interpret and explain the results. Both the strengths and weaknesses of the observations should be discussed. How do these findings compare to the published literature? What are the clinical implications? Although this last section might be tentative given the nature of a particular study, the authors should realize that even preliminary clinical implications might have value for the clinical readership. Ideally, a review of the potential clinical significance is the last section of the discussion. What are the major conclusions of the study? How does the data support these conclusions

9. Acknowledgments: All authors must affirm that they have no financial affiliation (e.g., employment, direct payment, stock holdings, retainers, consultantships, patent licensing arrangements or honoraria), or involvement with any commercial organization with direct financial interest in the subject or materials discussed in this manuscript, nor have any such arrangements existed in the past three years. Any other potential conflict of interest should be disclosed. Any author for whom this statement is not true must append a paragraph to the manuscript that fully discloses any financial or other interest that poses a conflict. Likewise the sources and correct attributions of all other grants, contracts or donations that funded the study must be disclosed

10. References: The reference style follows Index Medicus and can be easily learned from reading past issues of the *JOE*. The *JOE* uses the Vancouver reference style, which can be found in most citation management software products. Citations are placed in parentheses at the end of a sentence or at the end of a clause that requires a literature citation. Do not use superscript for

references. Original reports are limited to 35 references. There are no limits in the number of references for review articles.

3. Manuscripts Category Classifications and Requirements

Manuscripts submitted to the *JOE* must fall into one of the following categories. The abstracts for all these categories would have a maximum word count of 250 words:

1. CONSORT Randomized Clinical Trial-Manuscripts in this category must strictly adhere to the Consolidated Standards of Reporting Trials-CONSORT- minimum guidelines for the publication of randomized clinical trials. These guidelines can be found at www.consort-statement.org/. These manuscripts have a limit of 3,500 words, [including abstract, introduction, materials and methods, results, discussion and acknowledgments; excluding figure legends and references]. In addition, there is a limit of a total of 4 figures and 4 tables*.
2. Review Article-Manuscripts in this category are either narrative articles, or systematic reviews/meta-analyses. Case report/Clinical Technique articles even when followed by extensive review of the literature will should be categorized as "Case Report/Clinical Technique". These manuscripts have a limit of 3,500 words, [including abstract, introduction, discussion and acknowledgments; excluding figure legends and references]. In addition, there is a limit of a total of 4 figures and 4 tables*.
3. Clinical Research (e.g., prospective or retrospective studies on patients or patient records, or research on biopsies, excluding the use of human teeth for technique studies). These manuscripts have a limit of 3,500 words [including abstract, introduction, materials and methods, results, discussion and acknowledgments; excluding figure legends and references]. In addition, there is a limit of a total of 4 figures and 4 tables*.
4. Basic Research Biology (animal or culture studies on biological research on physiology, development, stem cell differentiation, inflammation or pathology). Manuscripts that have a primary focus on biology should be submitted in this category while manuscripts that have a primary focus on materials should be submitted in the Basic Research Technology category. For example, a study on cytotoxicity of a material should be submitted in the Basic Research Technology category, even if it was performed in animals with histological analyses. These

manuscripts have a limit of 2,500 words [including abstract, introduction, materials and methods, results, discussion and acknowledgments; excluding figure legends and references]. In addition, there is a limit of a total of 4 figures or 4 tables*.

5. Basic Research Technology (Manuscripts submitted in this category focus primarily on research related to techniques and materials used, or with potential clinical use, in endodontics). These manuscripts have a limit of 2,500 words [including abstract, introduction, materials and methods, results, discussion and acknowledgments; excluding figure legends and references]. In addition, there is a limit of a total of 3 figures and tables*.

6. Case Report/Clinical Technique (e.g., report of an unusual clinical case or the use of cutting-edge technology in a clinical case). These manuscripts have a limit of 2,500 words [including abstract, introduction, materials and methods, results, discussion and acknowledgments; excluding figure legends and references]. In addition, there is a limit of a total of 4 figures or tables*.

* Figures, if submitted as multipanel figures must not exceed 1 page length. Manuscripts submitted with more than the allowed number of figures or tables will require approval of the *JOE* Editor or associate editors. If you are not sure whether your manuscript falls within one of the categories above, or would like to request preapproval for submission of additional figures please contact the Editor by email at jendodontics@uthscsa.edu.

Importantly, adhering to the general writing methods described in these guidelines (and in the resources listed below) will help to reduce the size of the manuscript while maintaining its focus and significance. Authors are encouraged to focus on only the essential aspects of the study and to avoid inclusion of extraneous text and figures. The Editor may reject manuscripts that exceed these limitations.

4.2 ANÁLISE TOMOGRÁFICA MICROCOMPUTADORIZADA DE MICROFISSURAS APICAIS ANTES E APÓS O PREPARO DE CANAIS RADICULARES POR INSTRUMENTOS MANUAIS, ROTATÓRIOS E RECIPROCANES EM DIFERENTES COMPRIMENTOS DE TRABALHO

Resumo

Introdução: Este estudo teve como objetivo comparar a formação de microfissuras apicais após a instrumentação de canais radiculares com limas manuais, rotatórias e reciprocantes em diferentes comprimentos de trabalho utilizando análise de microtomografia computadorizada (micro-CT). **Métodos:** Sessenta incisivos inferiores foram divididos aleatoriamente em 6 grupos experimentais (n = 10) de acordo com os sistemas e com os comprimentos de trabalho utilizados para o preparo dos canais: instrumentos ProTaper Universal Manual (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça), HyFlex CM (Coltene-Whaledent, Allstetten, Suíça), e Reciproc (VDW, Munique, Alemanha), trabalhando no forame apical (FA), e 1 mm aquém do FA (FA-1 mm). Os dentes foram escaneados com micro-CT a uma resolução isotrópica de 14 µm antes e após o preparo dos canais, e os cortes transversais gerados foram avaliados para detectar microfissuras na porção apical das raízes. **Resultados:** No geral, 17 (28,3%) espécimes apresentaram microfissuras antes da instrumentação. Microfissuras apicais estavam presentes em 1 (Protaper Universal Manual), 3 (Hyflex CM), e 2 (Reciproc) espécimes quando a instrumentação foi finalizada no FA. Quando a instrumentação foi finalizada em FA-1 mm, microfissuras apicais foram detectadas em 3 (Protaper Universal Manual) e 4 (Hyflex CM e Reciproc) espécimes. Todas essas microfissuras detectadas após o preparo dos canais já estavam presentes antes da instrumentação, e nenhuma nova microfissura apical foi visualizada. Para todos os grupos, o número de cortes apresentando microfissuras após a instrumentação dos canais radiculares foi o mesmo que antes da preparação dos canais. **Conclusões:** a instrumentação dos canais radiculares com os sistemas ProTaper Universal Manual, HyFlex CM, e Reciproc, independentemente do comprimento de trabalho, não produziu microfissuras apicais.

Palavras-chave

Fissura dentinária, instrumentação de canais radiculares, microtomografia computadorizada, ProTaper, HyFlex CM, Reciproc

Importância

Este estudo destacou a importância da utilização de métodos não destrutivos para permitir uma melhor compreensão dos fatores relacionados à indução de defeitos dentinários. A análise de micro-CT demonstrou que, independentemente das técnicas ou comprimentos de trabalho utilizados para preparar os canais radiculares, nenhuma microfissura apical foi gerada.

Introdução

Dentes fissurados representam um desafio diagnóstico e restaurador para os clínicos (1). Clinicamente, micro-organismos podem proliferar nas linhas de fissura levando ao estabelecimento de biofilmes na superfície da raiz (2). Adicionalmente, a propagação de uma microfissura pode levar ao desenvolvimento de uma fratura radicular vertical e, por fim, à perda do elemento dentário (3, 4).

A instrumentação do canal radicular tem sido sugerida como um fator que contribui para a indução de diferentes graus de defeitos dentinários (5-7). Além disso, tem se especulado que a instrumentação até o forame apical (FA) aumenta o risco de se produzir defeitos na dentina radicular apical (8-10). Outras alegações afirmam que o alisamento de irregularidades e bordas afiadas pode levar a uma diminuição da incidência de fraturas (11, 12). Relatos de dados de pesquisas, no entanto, têm sido inconsistentes com relação à incidência de fissuras radiculares geradas após o preparo de canais com instrumentos manuais, rotatórios e reciprocantes, muitas vezes, gerando confusão e incerteza para os profissionais que procuram por um instrumento mais seguro.

A maioria dos estudos que avaliaram a incidência de fissuras dentinárias baseou-se no método de seccionamento radicular, pelo qual, após a instrumentação dos canais radiculares, os espécimes são seccionados em vários níveis a partir do ápice, e as fatias resultantes são observadas através de um estereomicroscópio (13). A principal deficiência desse método é a impossibilidade de avaliar de forma confiável defeitos presentes na dentina radicular antes da instrumentação do canal (14). Além disso, os procedimentos de seccionamento radicular podem danificar a dentina, induzindo a resultados falso-positivos (15).

Nos últimos anos, a microtomografia computadorizada (micro-CT) tem emergido como um método de imagem altamente preciso, amplamente utilizado na pesquisa endodôntica (16, 17). Com essa tecnologia, é possível obter imagens tridimensionais de alta resolução dos elementos dentários, antes e depois da instrumentação dos canais, sem seccionar as amostras, aumentando a validade interna de experimentos *in vitro* (18, 19).

Até o momento, nenhum estudo investigou a influência da técnica de preparo do canal radicular e do comprimento de instrumentação sobre a ocorrência de microfissuras apicais utilizando uma metodologia não destrutiva. Portanto, o objetivo do presente estudo foi comparar a formação de microfissuras apicais após a modelagem de canais radiculares com instrumentos manuais, rotatórios e reciprocantes, em diferentes comprimentos de trabalho, utilizando análise de micro-CT. A hipótese nula testada foi a de que, nem a técnica de preparo dos canais radiculares, nem o comprimento de instrumentação possuem efeito sobre a formação de microfissuras apicais.

Materiais e Métodos

Seleção e Preparação das Amostras

Este estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Pernambuco. Foram selecionados incisivos inferiores humanos recentemente extraídos que apresentavam ápices maduros e canais radiculares únicos e retos ($<5^\circ$) (20). Os espécimes foram extraídos por razões não relacionadas com este estudo e armazenados em água filtrada purificada até a utilização. Todas as raízes foram inspecionadas utilizando um estereomicroscópio (Stemi 2000-C, Zeiss, São Paulo, Brasil) com ampliação de 12X para excluir aquelas que apresentassem qualquer defeito dentinário externo. Radiografias foram realizadas a partir dos planos mesiodistal e vestibulolingual para confirmar a presença de um único canal radicular. Os espécimes que apresentavam tratamento endodôntico prévio, reabsorção interna/externa, e cáries radiculares foram descartados. Para assegurar a padronização, as porções coronárias dos espécimes foram seccionadas a cerca de aproximadamente 13 mm do ápice utilizando uma serra de baixa velocidade (Isomet; Buehler Ltd, Lake Bluff, IL, EUA) sob refrigeração a água. Para todos os dentes, a largura do canal perto do ápice foi compatível com

uma lima tipo K 10# (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça). Utilizando esses critérios, 60 espécimes foram selecionados.

Posteriormente, os espécimes foram escaneados utilizando micro-CT (XTH225ST, Nikon, Japão) a uma resolução isotrópica de 14 μm . Os raios X foram gerados a 70 kV e 114 μA , e filtrados com um filtro de alumínio de 1 mm de espessura. Uma calibração de ar do detector foi realizada antes dos escaneamentos para reduzir os artefatos de anel e minimizar o efeito de endurecimento do feixe. As imagens de cada espécime foram reconstruídas com o programa CT Pro 3D v.XT3.1.3 (Nikon Metrology NV). O software VGStudio MAX[®] v.2.2 foi utilizado para suavizar as imagens por meio da aplicação do filtro de Gauss, e para fornecer cortes transversais da estrutura interna das raízes.

Preparo dos Canais Radiculares

A distância entre o plano de referência e o FA das raízes foi determinada através da inserção de uma lima tipo K 10# (Dentsply Maillefer) no canal até que a ponta da lima se tornasse visível no FA. Para simular o espaço do ligamento periodontal, as superfícies das raízes foram revestidas por uma fina película de material de impressão à base de silicone, e embebidas em resina acrílica (21).

Os dentes foram numerados e divididos aleatoriamente em 6 grupos experimentais ($n = 10$) de acordo com a técnica e com o comprimento de trabalho utilizado para a instrumentação dos canais radiculares. Instrumentos manuais, rotatórios e reciprocantes foram testados: ProTaper Universal Manual (Dentsply Maillefer), HyFlex CM (Coltene-Whaledent, Allstetten, Suíça), e Reciproc (VDW, Munique, Alemanha). As instrumentações foram finalizadas em diferentes níveis: FA, instrumentação finalizada no FA; e FA-1 mm, instrumentação finalizada 1 mm aquém do FA.

O glide path foi realizado utilizando uma lima tipo K 15# (Dentsply Maillefer) até o comprimento de trabalho. Os instrumentos ProTaper Universal Manual foram utilizados na seguinte sequência: o instrumento Sx preparou a porção coronária do canal e, posteriormente, os instrumentos S1, S2, F1, e F2 (25/0.08) foram utilizados até o comprimento de trabalho ser atingido. Os instrumentos HyFlex CM foram empregados numa sequência coroa-ápice utilizando: instrumento 25/0.08 (dois terços do comprimento de trabalho), e instrumentos 20/0.04, e 25/0.04 (no comprimento de trabalho total). O instrumento Reciproc R25 (25/0.08) foi utilizado

num lento movimento de bicada de aproximadamente 3 mm de amplitude com uma leve pressão apical até o comprimento de trabalho ser atingido.

A instrumentação com as limas HyFlex CM e Reciproc foi realizada com um motor de baixo torque (X-Smart Plus, Dentsply Maillefer) de acordo com as instruções estabelecidas pelo fabricante de cada sistema. Todas as instrumentações foram realizadas por um único operador, e cada instrumento foi utilizado para preparar apenas 4 canais. Utilizou-se resina composta para fixar os cursores de borracha, evitando que os mesmos se deslocassem durante a instrumentação. A irrigação foi realizada utilizando um total de 15 mL de hipoclorito de sódio a 1% (Farmácia Escola Carlos Dumont de Andrade, Recife, Brasil) por canal, administrados utilizando uma seringa e uma agulha de calibre 30 após a utilização de cada instrumento ou após 3 movimentos de bicada. A irrigação final foi realizada utilizando 5 mL de água destilada.

Após as instrumentações, os espécimes foram escaneados novamente com a micro-CT (escaneamentos de pós-instrumentação) utilizando os mesmos parâmetros acima mencionados.

Avaliação de Microfissuras

As secções transversais de micro-CT geradas antes e após a instrumentação dos canais radiculares ($n = 34.320$) foram cegamente avaliadas por três examinadores, que eram especialistas em Endodontia, para detectar a presença de microfissuras nos 4 mm da porção apical das raízes. Uma microfissura foi definida como qualquer fissura incompleta (linha que se estende desde a parede do canal até a dentina sem atingir a superfície externa da raiz), fissura completa (linha que se estende da parede do canal radicular até a superfície externa), ou linha rachada (outras linhas que não atingem nenhuma superfície da raiz ou que se estendem da superfície externa para a dentina, mas não atingem a parede do canal) observadas na dentina radicular (5). Se uma linha de microfissura fosse detectada na imagem de pós-instrumentação, a imagem de pré-instrumentação correspondente também era inspecionada para verificar a pré-existência de um defeito dentinário (22). As imagens foram reavaliadas após um intervalo de 4 semanas. Em caso de discrepância entre as observações, os cortes eram examinados novamente e os examinadores discutiam os resultados até que um acordo fosse alcançado.

Resultados

Microfissuras apicais foram detectadas em 17 (28,3%) espécimes. As instrumentações finalizadas no FA apresentaram 1 (10%), 3 (30%), e 2 (20%) amostras exibindo microfissuras dentinárias quando os canais foram preparados com os sistemas Protaper Universal Manual, Hyflex CM e Reciproc, respectivamente. Quando a instrumentação foi finalizada em FA-1 mm, microfissuras dentinárias estavam presentes em 3 (30%), 4 (40%), e 4 (40%) espécimes preparados com Protaper Universal Manual, Hyflex CM e Reciproc, respectivamente. Todas essas microfissuras detectadas após a instrumentação dos canais radiculares já existiam antes da instrumentação (Fig. 1). Assim, independentemente da técnica ou do comprimento de trabalho utilizado para a instrumentação dos canais radiculares, nenhuma nova microfissura apical foi gerada.

De um total de 34.320 cortes obtidos, 2586 (7,53%) apresentaram algum defeito dentinário. A distribuição dos cortes apresentando microfissuras em cada grupo está resumida na Tabela 1. Para todos os grupos, o número de cortes em que as microfissuras foram detectadas após a preparação do canal radicular foi o mesmo que foi verificado antes da preparação do canal. Portanto, o comprimento longitudinal das microfissuras pré-existent não foi modificado.

Como novas microfissuras não foram detectadas, uma análise estatística não foi necessária.

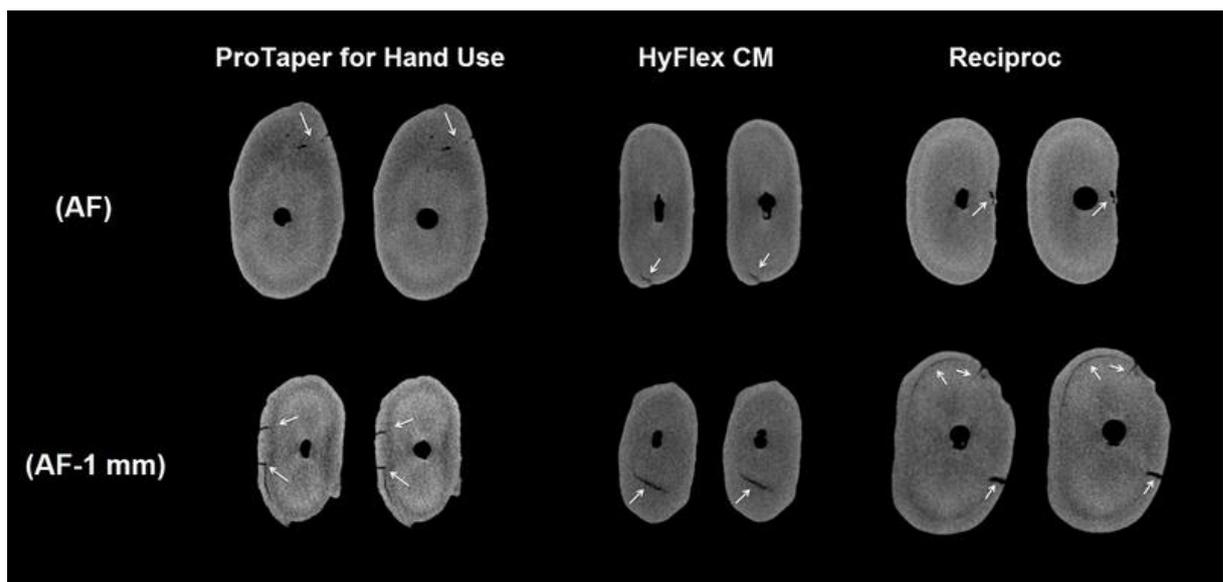


Figura 1. Imagens representativas de micro-TC obtidas a partir de 6 incisivos inferiores, antes e após a instrumentação com Protaper Universal Manual, Hyflex CM e Reciproc, quando o preparo foi finalizado no forame apical (FA) e 1 mm aquém do FA (FA-1 mm). As linhas de fissura são indicadas pelas setas.

TABELA 1. Distribuição de Cortes ($n = 34.320$) Apresentando Microfissuras Apicais de Acordo com o Sistema e Comprimento de Trabalho

Sistema	Comprimento de Trabalho		Total (%)
	FA (%)	FA-1 mm (%)	
ProTaper	24 (0,07)	634 (1,85)	658 (1,92)
HyFlex CM	620 (1,81)	494 (1,44)	1114 (3,25)
Reciproc	332 (0,97)	482 (1,40)	814 (2,37)
Total	976 (2,84)	1610 (4,69)	2586 (7,53)

Discussão

No presente estudo, avaliou-se a incidência de microfissuras apicais após o preparo de canais radiculares utilizando os instrumentos ProTaper Universal Manual, HyFlex CM e Reciproc em diferentes comprimentos de trabalho. Sistemas manuais, rotatórios e reciprocantes foram escolhidos devido aos inconsistentes relatos a respeito do impacto biomecânico por eles provocados na dentina radicular. Por exemplo, de acordo com Bürklein et al (5) e Gergi et al (23), a instrumentação de canais radiculares com limas reciprocantes (Reciproc e WaveOne) produziu significativamente mais fissuras dentinárias do que com sistemas rotatórios. Em contraste, outros estudos (6, 24) verificaram que a modelagem de canais com limas rotatórias estava associada à formação de significativamente mais fissuras do que com sistemas reciprocantes. Enquanto isso, embora investigações anteriores tenham observado que a instrumentação com limas manuais não produziam fissuras dentinárias (13, 25, 26); também foi relatado (7, 27, 28) que a incidência de defeitos dentinários em canais radiculares preparados com sistemas rotatórios ou reciprocantes não diferiram daquela encontrada quando limas manuais foram utilizadas.

Os achados observados no presente estudo diferem dessas pesquisas anteriores, considerando que, independentemente da técnica utilizada para o preparo dos canais radiculares, microfissuras não foram atribuídas aos procedimentos de instrumentação. A principal razão que pode explicar essa inconsistência é o método utilizado para detectar defeitos dentinários. No presente estudo, escaneamentos de micro-CT foram utilizados para avaliar a presença de microfissuras ao longo da porção apical das raízes. Essa tecnologia oferece imagens de alta resolução em todas as três dimensões sem a necessidade de

seccionamento dos espécimes, permitindo uma comparação precisa da presença de microfissuras antes e após a instrumentação do canal radicular num mesmo elemento dentário (22). Assim, nessa metodologia, cada espécime atua como seu próprio controle.

Por outro lado, a maioria dos estudos anteriores que correlacionaram o preparo biomecânico ao desenvolvimento de defeitos dentinários utilizaram a observação direta dos espécimes em estereomicroscópio após o seccionamento da raiz, utilizando uma serra de baixa velocidade, em diferentes distâncias do ápice. Além do potencial de produzir defeitos dentinários pelos procedimentos de corte em si, esse método de seccionamento radicular apresenta outros inconvenientes que serão apontados a seguir.

Para garantir que os espécimes selecionados não apresentavam defeitos dentinários pré-existentes, os estudos de seccionamento radicular empregam um estereomicroscópio para avaliar as superfícies radiculares e descartar aqueles espécimes que apresentavam linhas rachadas ou fissuras. No entanto, conforme observado no presente estudo, mesmo após os espécimes terem sido checados com um estereomicroscópio, 28,3% das amostras aqui utilizadas apresentaram microfissuras antes do preparo biomecânico. Da mesma forma, estudos anteriores (18, 22, 29), utilizando micro-CT, também verificaram uma quantidade total de defeitos dentinários pré-existentes variando de 16,7% a 34,6%. Portanto, apenas a avaliação das superfícies radiculares sob ampliação não é suficiente para garantir que os espécimes estão realmente livres de microfissuras.

Essas falhas podem ser a principal razão para as contraditórias incidências de defeitos dentinários verificadas anteriormente para o mesmo instrumento. Por exemplo, a porcentagem de incisivos inferiores apresentando defeitos dentinários após o preparo dos canais radiculares utilizando o instrumento Reciproc variou de 5% a 46,6% em estudos de seccionamento radicular (24, 28).

O método de seccionamento radicular baseia-se num grupo controle negativo composto por dentes não instrumentados, os quais, na grande maioria dos estudos, não apresentaram fissuras após o seccionamento e observação por estereomicroscópio (5, 6, 24). No entanto, uma pesquisa recente (15) questionou a confiabilidade desse grupo controle negativo, mostrando que a maioria dos defeitos presentes nas secções de espécimes não instrumentados não podem ser visualizados sem a utilização de transiluminação com LED.

Essas evidências enfatizam a importância da transição de métodos experimentais de imagens destrutivos para não-destrutivos visando proporcionar uma melhor compreensão dos fatores relacionados à indução de defeitos dentinários. No presente estudo, utilizando imagens de micro-CT, não foi detectada nenhuma nova microfissura dentinária após o preparo dos canais radiculares, o que está de acordo com os achados de De-Deus et al (18,22) e Lim et al (30) que utilizaram metodologia semelhante. Esse resultado contrasta com Ceyhanli et al (29), que relataram que os procedimentos de instrumentação aumentaram significativamente o número de microfissuras dentinárias verificadas nas imagens de pré-instrumentação de micro-TC. Os achados do referido estudo foram atribuídos à grande curvatura das raízes mesiais dos primeiros molares inferiores utilizados, que variaram de 20 a 40 graus. Portanto, outros estudos utilizando micro-CT são necessários para avaliar o efeito da curvatura do canal radicular na formação de microfissuras dentinárias.

Contrariamente aos relatos anteriores da literatura (8-10, 27), o presente estudo mostrou que variações do comprimento de trabalho não influenciaram no desenvolvimento de microfissuras, mesmo quando a instrumentação foi finalizada no FA. Este achado apresenta uma substancial relevância para os clínicos, uma vez que a porção apical do canal radicular pode abrigar um número crítico de micro-organismos capazes de manter a inflamação perirradicular (31). Por esta razão, afirma-se que canais infectados devem ser limpos a um nível mais próximo possível da FA (32).

Considerando que, quanto maior a quantidade de dentina removida da raiz, maior é a probabilidade da raiz fraturar (3, 33), alguns estudos têm proposto que a conicidade do preparo do canal pode ser um fator contribuinte na geração de defeitos dentinários (10, 13, 21). No entanto, como observado no presente estudo, no qual os grupos apresentaram diferentes conicidade de preparações (0.04-0.08), nenhuma microfissura provocada por instrumentação foi observada. Esta observação é suportada por Sathorn et al (33), que concluíram que a quantidade de dentina removida é apenas um dos muitos fatores associados à suscetibilidade à fratura. De acordo com esses autores, além da remoção da dentina, parâmetros como curvatura radicular, tamanho e forma do canal podem interagir juntos influenciando na susceptibilidade e padrão de fratura. Portanto, a remoção de dentina não resulta, necessariamente, em maior susceptibilidade à fratura (33).

Neste estudo, um material de impressão elastomérico e resina acrílica foram utilizados para simular a realidade clínica e, portanto, a ausência de ligamento periodontal e osso alveolar natural foi uma limitação. De acordo com Soros et al (34), não há material artificial capaz de absorver forças incididas nos dentes de forma semelhante ao ligamento periodontal natural. Além disso, investigações anteriores (14, 15, 30) levantaram a possibilidade de que a contração causada por condições de armazenamento e desidratação de dentes extraídos possam criar ou propagar defeitos dentinários. Rose et al (35) descobriram que rachaduras apicais não foram observadas em dentes instrumentados ou não instrumentados, sugerindo que a presença de estruturas periodontais naturais pode ter absorvido o impacto da instrumentação e impedido microfissuras. Da mesma forma, um estudo utilizando mandíbulas de cadáver humano (7) não encontrou diferenças significativas entre o número de microfissuras observadas em dentes instrumentados e não instrumentados. Portanto, acreditamos que investigações futuras utilizando um modelo de cadáver humano fresco *in situ* combinado com um método de imagem não destrutivo fornecerão uma dimensão mais profunda sobre a formação de microfissuras dentinárias.

Dentro das limitações deste estudo *in vitro*, pode-se concluir que a instrumentação de canais radiculares utilizando os sistemas ProTaper Universal Manual, HyFlex CM e Reciproc, independentemente do comprimento de trabalho, não produziu microfissuras apicais.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Laboratório de Microtomografia Computadorizada de Raios-X (LTC_RX) do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco pelas imagens de micro-CT.

Este estudo foi apoiado por doações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Instituição Governamental Brasileira.

Os autores negam quaisquer conflitos de interesse relacionados a este estudo.

Referências

1. Sim IG, Lim TS, Krishnaswamy G, et al. Decision Making for Retention of Endodontically Treated Posterior Cracked Teeth: A 5-year Follow-up Study. *J Endod* 2016;42:225-9.
2. Shen Y, Stojicic S, Haapasalo M. Antimicrobial efficacy of chlorhexidine against bacteria in biofilms at different stages of development. *J Endod* 2011;37:657-61.
3. Wilcox LR, Roskelley C, Sutton T. The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture. *J Endod* 1997;23:533-4.
4. Tamse A, Kaffe I, Lustig J, et al. Radiographic features of vertically fractured endodontically treated mesial roots of mandibular molars. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006;101:797-802.
5. Bürklein S, Tsotsis P, Schäfer E. Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation. *J Endod* 2013;39:501-4.
6. Kansal R, Rajput A, Talwar S, et al. Assessment of dentinal damage during canal preparation using reciprocating and rotary files. *J Endod* 2014;40:1443-6.
7. Arias A, Lee YH, Peters CI, et al. Comparison of 2 canal preparation techniques in the induction of microcracks: a pilot study with cadaver mandibles. *J Endod* 2014;40:982-5.
8. Adorno CG, Yoshioka T, Suda H. The effect of root preparation technique and instrumentation length on the development of apical root cracks. *J Endod* 2009;35:389-92.
9. Adorno CG, Yoshioka T, Suda H. Crack initiation on the apical root surface caused by three different nickel-titanium rotary files at different working lengths. *J Endod* 2011;37:522-5.
10. Liu R, Kaiwar A, Shemesh H, et al. Incidence of apical root cracks and apical dentinal detachments after canal preparation with hand and rotary files at different instrumentation lengths. *J Endod* 2013;39:129-32.
11. Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH. Patterns of vertical root fracture: factors affecting stress distribution in the root canal. *J Endod* 2003;29:523-8.

12. Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH. Finite element analysis and strain-gauge studies of vertical root fracture. *J Endod* 2003;29:529-34.
13. Bier CA, Shemesh H, Tanomaru-Filho M, et al. The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation. *J Endod* 2009;35:236-8.
14. Coelho MS, Card SJ, Tawil PZ. Light-emitting Diode Assessment of Dentinal Defects after Root Canal Preparation with Profile, TRUShape, and WaveOne Gold Systems. *J Endod* 2016;42:1393-6.
15. Coelho MS, Card SJ, Tawil PZ. Visualization Enhancement of Dentinal Defects by Using Light-Emitting Diode Transillumination. *J Endod* 2016;42:1110-3.
16. Siqueira JF Jr, Alves FR, Versiani MA, et al. Correlative bacteriologic and micro-computed tomographic analysis of mandibular molar mesial canals prepared by self-adjusting file, reciproc, and twisted file systems. *J Endod* 2013;39:1044-50.
17. Can ED, Keleş A, Aslan B. Evaluation of the root filling quality of three root canal filling systems with micro-CT. *Int Endod J* 2017;50:499-505.
18. De-Deus G, Belladonna FG, Souza EM, et al. Micro-computed Tomographic Assessment on the Effect of ProTaper Next and Twisted File Adaptive Systems on Dentinal Cracks. *J Endod* 2015;41:1116-9.
19. Marceliano-Alves MF, Sousa-Neto MD, Fidel SR, et al. Shaping ability of single-file reciprocating and heat-treated multfile rotary systems: a micro-CT study. *Int Endod J* 2015;48:1129-36.
20. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971;32:271-5.
21. Arslan H, Karataş E, Capar ID, et al. Effect of ProTaper Universal, Endoflare, Revo-S, HyFlex coronal flaring instruments, and Gates Glidden drills on crack formation. *J Endod* 2014;40:1681-3.
22. De-Deus G, Silva EJ, Marins J, et al. Lack of causal relationship between dentinal microcracks and root canal preparation with reciprocation systems. *J Endod* 2014;40:1447-50.

23. Gergi RM, Osta NE, Naaman AS. Dentinal crack formation during root canal preparations by the twisted file adaptive, Reciproc and WaveOne instruments. *Eur J Dent* 2015;9:508-12.
24. Liu R, Hou BX, Wesselink PR, et al. The incidence of root microcracks caused by 3 different single-file systems versus the ProTaper system. *J Endod* 2013;39:1054-6.
25. Yoldas O, Yilmaz S, Atakan G, et al. Dentinal microcrack formation during root canal preparations by different NiTi rotary instruments and the self-adjusting file. *J Endod* 2012;38:232-5.
26. Hin ES, Wu MK, Wesselink PR, et al. Effects of self-adjusting file, Mtwo, and ProTaper on the root canal wall. *J Endod* 2013;39:262-4.
27. Adorno CG, Yoshioka T, Suda H. The effect of working length and root canal preparation technique on crack development in the apical root canal wall. *Int Endod J* 2010;43:321-7.
28. Helvacioğlu-Yigit D, Aydemir S, Yilmaz A. Evaluation of dentinal defect formation after root canal preparation with two reciprocating systems and hand instruments: an in vitro study. *Biotechnol Biotechnol Equip* 2015;29:368-373.
29. Ceyhanlı KT, Erdilek N, Tatar I, et al. Comparison of ProTaper, RaCe and Safesider instruments in the induction of dentinal microcracks: a micro-CT study. *Int Endod J* 2016;49:684-9.
30. Lim H, Li FC, Friedman S, et al. Residual Microstrain in Root Dentin after Canal Instrumentation Measured with Digital Moiré Interferometry. *J Endod* 2016;42:1397-402.
31. Siqueira JF Jr, Rôças IN. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod* 2008;34:1291-1301.e3.
32. Wu MK, Wesselink PR, Walton RE. Apical terminus location of root canal treatment procedures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000;89:99-103.

33. Sathorn C, Palamara JE, Palamara D, et al. Effect of root canal size and external root surface morphology on fracture susceptibility and pattern: a finite element analysis. *J Endod* 2005;31:288-92.
34. Soros C, Zinelis S, Lambrianidis T, et al. Spreader load required for vertical root fracture during lateral compaction ex vivo: evaluation of periodontal simulation and fracture load information. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;106:e64-70.
35. Rose E, Svec T. An Evaluation of Apical Cracks in Teeth Undergoing Orthograde Root Canal Instrumentation. *J Endod* 2015;41:2021-4.

4.3 EFEITO DE SISTEMAS RECIPROCANTES E COMPRIMENTOS DE TRABALHO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE MICROFISSURAS APICAIS: UM ESTUDO DE MICRO-CT

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da preparação de canais radiculares utilizando sistemas reciprocantes de lima única em diferentes comprimentos de trabalho sobre o desenvolvimento de microfissuras apicais utilizando imagens de microtomografia computadorizada (micro-CT). Quarenta incisivos inferiores humanos extraídos foram distribuídos aleatoriamente em 4 grupos ($n = 10$) de acordo com os sistemas e comprimentos de trabalho utilizados para preparar os canais radiculares: grupo A - WaveOne Gold no forame apical (FA), grupo B - WaveOne Gold 1 mm aquém do FA (FA-1 mm), grupo C - Unicone (FA), e grupo D - Unicone (FA-1mm). Escaneamentos de micro-CT foram realizados antes e após o preparo dos canais a uma resolução isotrópica de 14 μm . Em seguida, três examinadores avaliaram as imagens de secção transversal geradas para detectar microfissuras na porção apical das raízes. Microfissuras apicais foram visualizadas em 3, 1, 1 e 3 espécimes nos grupos A, B, C e D, respectivamente. Todas essas microfissuras observadas após o preparo dos canais radiculares já existiam antes da instrumentação, e não foi detectada nenhuma nova microfissura apical. Para todos os grupos, o número de cortes apresentando microfissuras após o preparo dos canais radiculares foi o mesmo verificado antes do preparo dos canais. O preparo de canais radiculares utilizando WaveOne Gold e Unicone, independentemente do comprimento de trabalho, não foi associado à formação de microfissuras apicais.

Palavras-chave: fissura dentinária, preparação do canal radicular, microtomografia computadorizada, WaveOne Gold, Unicone.

INTRODUÇÃO

Em 2008, uma nova técnica de preparação do canal radicular utilizando apenas um instrumento de níquel-titânio em movimento recíprocante foi proposta por Yared (1). Desde então, diversos instrumentos reciprocantes foram introduzidos. WaveOne Gold (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) e Unicone (Medin, Nové Město na Moravě, República Checa) são exemplos de sistemas reciprocantes

recentemente lançados que operam sob o conceito de preparar canais radiculares com apenas um instrumento. Embora o uso de uma única lima simplificar a instrumentação e promover um meio seguro e eficaz de modelagem do canal radicular (1, 2), os estudos têm sido inconsistentes com relação ao impacto biomecânico na dentina radicular gerado por instrumentos reciprocantes.

Tem sido especulado que o uso de uma única lima de grande conicidade, em vez de uma seqüência de instrumentos, para a preparação do canal radicular resulte em um maior nível de concentrações de tensões nas paredes do canal radicular e, conseqüentemente, na formação de mais defeitos dentinários (3). Por outro lado, a liberação contínua da lima quando ela está engrenada dentro do canal radicular, promovido pelo movimento recíprocante, tem sido sugerida como responsável por reduzir as tensões que agem sobre a dentina, resultando na produção de menos fissuras do que os instrumentos de rotação contínua (4). Além disso, estudos sobre o desenvolvimento de defeitos dentinários especularam que variações no comprimento de trabalho podem ter um efeito significativo na incidência de fissuras apicais (5).

No entanto, a maioria dessas afirmações foi baseada em estudos de seccionamento radicular, os quais, para investigar as linhas de fissura após o preparo dos canais radiculares, utilizaram uma serra para seccionar as raízes, e as fatias resultantes foram inspecionadas através de um estereomicroscópio (6). Esse método de seccionamento apresenta uma desvantagem substancial que pode induzir a resultados falso-positivos, uma vez que fissuras dentinárias podem ocorrer devido ao procedimento de corte do dente (7). Além disso, os defeitos previamente presentes na dentina radicular podem não ser detectados antes da instrumentação do canal radicular (8).

A microtomografia computadorizada (micro-CT) tem permitido novas perspectivas para a pesquisa endodôntica (9), especialmente para os estudos sobre os fatores relacionados à indução de microfissuras dentinárias. Essa tecnologia permite investigar a presença de defeitos dentinários com uma resolução detalhada antes e após a preparação do canal, sem o pré-requisito de seccionar os espécimes (10-14).

Até o presente momento, nenhum estudo utilizou uma metodologia não destrutiva para avaliar o impacto da instrumentação com WaveOne Gold e Unicone em diferentes comprimentos de trabalho sobre a formação de microfissuras.

Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da preparação de canais radiculares com WaveOne Gold e Unicore quando trabalhando aquém e no forame apical (FA) sobre o desenvolvimento de microfissuras apicais utilizando escaneamentos de micro-CT.

MATERIAIS E MÉTODOS

SELEÇÃO E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Após a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Pernambuco (nº 1.697.303), foram obtidos incisivos inferiores humanos extraídos. Os espécimes foram extraídos por razões não relacionadas com este estudo e armazenados em água filtrada purificada até o uso. Foram realizadas radiografias nos planos mesiodistal e vestibulolingual. Posteriormente, as superfícies das raízes foram inspecionadas sob um estereomicroscópio (Stemi 2000-C, Zeiss, São Paulo, Brasil) com ampliação de 12X. Foram selecionados incisivos inferiores livres de defeitos dentinários externos, tratamento endodôntico prévio, cáries radiculares e reabsorção interna/externa, bem como, que apresentassem ápices completamente formados e canais radiculares únicos e retos ($<5^\circ$) (15). Posteriormente, a coroa dos elementos foi removida com uma serra de baixa velocidade sob refrigeração com água (Isomet, Buehler Ltd, Lake Bluff, IL, EUA) a aproximadamente a 13 mm do ápice. Os canais não patentes com uma lima tipo K #10 (Dentsply Maillefer) foram descartados. Atendendo a esses critérios, foram selecionados 40 espécimes.

As amostras foram então digitalizadas utilizando um scanner de micro-CT (XTH225ST, Nikon, Japão) com parâmetros de exposição ajustados em 14 μm de resolução isotrópica, tensão de 70 kV e corrente de 114 μA . Os raios X foram filtrados com um filtro de alumínio de 1 mm de espessura. Para reduzir os artefatos de anel e minimizar o efeito de endurecimento do feixe, antes das varreduras foi realizada uma calibração de ar do detector. As imagens de cada espécime foram reconstruídas com o software CT Pro 3D v.XT3.1.3 (Nikon Metrology NV). O software VGStudio MAX[®] v.2.2 foi subsequentemente utilizado para suavizar as imagens com a aplicação do filtro de Gauss, e fornecer secções transversais da estrutura interna das raízes.

PREPARO DOS CANAIS RADICULARES

A distância entre o plano de referência e o FA dos espécimes foi determinada através da inserção de uma lima tipo K 10# no canal até que a ponta dessa lima se tornasse visível no FA. As superfícies radiculares foram revestidas por uma fina película de material de impressão à base de silicone e incorporadas em resina acrílica autopolimerizável para simular o ligamento periodontal (16).

Os dentes foram numerados e alocados aleatoriamente em 4 grupos experimentais (n = 10) de acordo com os sistemas e comprimentos de trabalho utilizados para o preparo dos canais radiculares. Os seguintes instrumentos reciprocantes foram testados: WaveOne Gold e Unicore. Os comprimentos de trabalho analisados foram: instrumentação finalizada no FA (FA) e instrumentação terminada 1 mm aquém do FA (FA-1 mm). Como se segue:

Grupo A: WaveOne Gold (FA)

Grupo B: WaveOne Gold (FA-1 mm)

Grupo C: Unicore (FA)

Grupo D: Unicore (FA-1 mm)

O glide path foi realizado utilizando uma lima tipo K 15# (Dentsply Maillefer) até o comprimento de trabalho. Os instrumentos WaveOne Gold Primary (25/0.07) e Unicore (25/0.06) foram utilizados num lento movimento de bicada para dentro e para fora com aproximadamente 3 mm de amplitude até o comprimento de trabalho ser atingido. Após 3 movimentos de bicada, as flautas dos instrumentos eram limpas e os canais eram irrigados. Foi utilizado um total de 15 mL de hipoclorito de sódio a 1% por canal. A irrigação final foi realizada utilizando 5 mL de água destilada.

Cada instrumento foi utilizado em 4 canais e operado com um motor de baixo torque (X-Smart Plus, Dentsply Maillefer) definido no programa WaveOne. Um único operador concluiu todas as instrumentações. Utilizou-se resina composta para fixar os cursores de borracha e evitar que os mesmos se deslocassem durante a instrumentação.

Após as instrumentações dos canais radiculares, os espécimes foram escaneados novamente com a micro-CT (escaneamentos de pós-instrumentação) utilizando os mesmos parâmetros aplicados nos escaneamentos de pré-instrumentação.

AValiação de Microfissuras

Três examinadores avaliaram cegamente as imagens de micro-CT obtidas antes e após as instrumentações (n = 22.880) para identificar a presença de qualquer microfissura dentinária ao longo dos 4 mm da porção apical das raízes. Os examinadores eram especialistas em Endodontia previamente calibrados. A calibração consistiu em instruções escritas e verbais sobre a interpretação da imagem de micro-CT com exemplos de cortes de micro-CT gerados a partir de raízes fissuradas que não foram incluídas na amostra do estudo. Uma microfissura foi definida como qualquer fissura incompleta (linha que se estende desde a parede do canal até a dentina sem atingir a superfície externa da raiz), fissura completa (linha que se estende da parede do canal radicular até a superfície externa) ou linha rachada (outras linhas que não atingiam nenhuma superfície da raiz, ou que se estendiam da superfície externa para a dentina, mas não atingiam a parede do canal) observadas na dentina radicular (3).

Se uma imagem de pós-instrumentação exibisse uma linha de microfissura, a imagem de pré-instrumentação correspondente também era inspecionada para verificar a pré-existência de um defeito dentinário (9). As avaliações das imagens foram repetidas após um intervalo de 4 semanas. Em caso de discrepância nas observações, os cortes eram examinados ao mesmo tempo pelos três avaliadores até chegarem a um acordo.

RESULTADOS

No geral, 8 (20%) espécimes apresentaram algum defeito dentinário. Microfissuras apicais foram detectadas em 3 (30%), 1 (10%), 1 (10%) e 3 (30%) espécimes nos grupos A (WaveOne Gold -FA), B (WaveOne Gold - FA-1mm), C (Unicone - FA) e D (Unicone - FA-1mm), respectivamente. Todas essas microfissuras detectadas após a instrumentação do canal radicular já estavam presentes antes da instrumentação (Fig. 1). Desse modo, independentemente do sistema ou do comprimento de trabalho testado, nenhuma nova microfissura apical foi gerada.

Microfissuras foram detectadas em 1058 (4,62%) imagens de secção transversal, de um total de 22.880 fatias obtidas. A Tabela 1 resume a distribuição de cortes apresentando microfissuras em cada grupo. Para todos os grupos, o número de cortes em que as microfissuras foram identificadas após a instrumentação dos canais radiculares foi o mesmo que foi verificado antes da

instrumentação. Portanto, as microfissuras pré-existent não foram propagadas longitudinalmente pelos procedimentos de instrumentação.

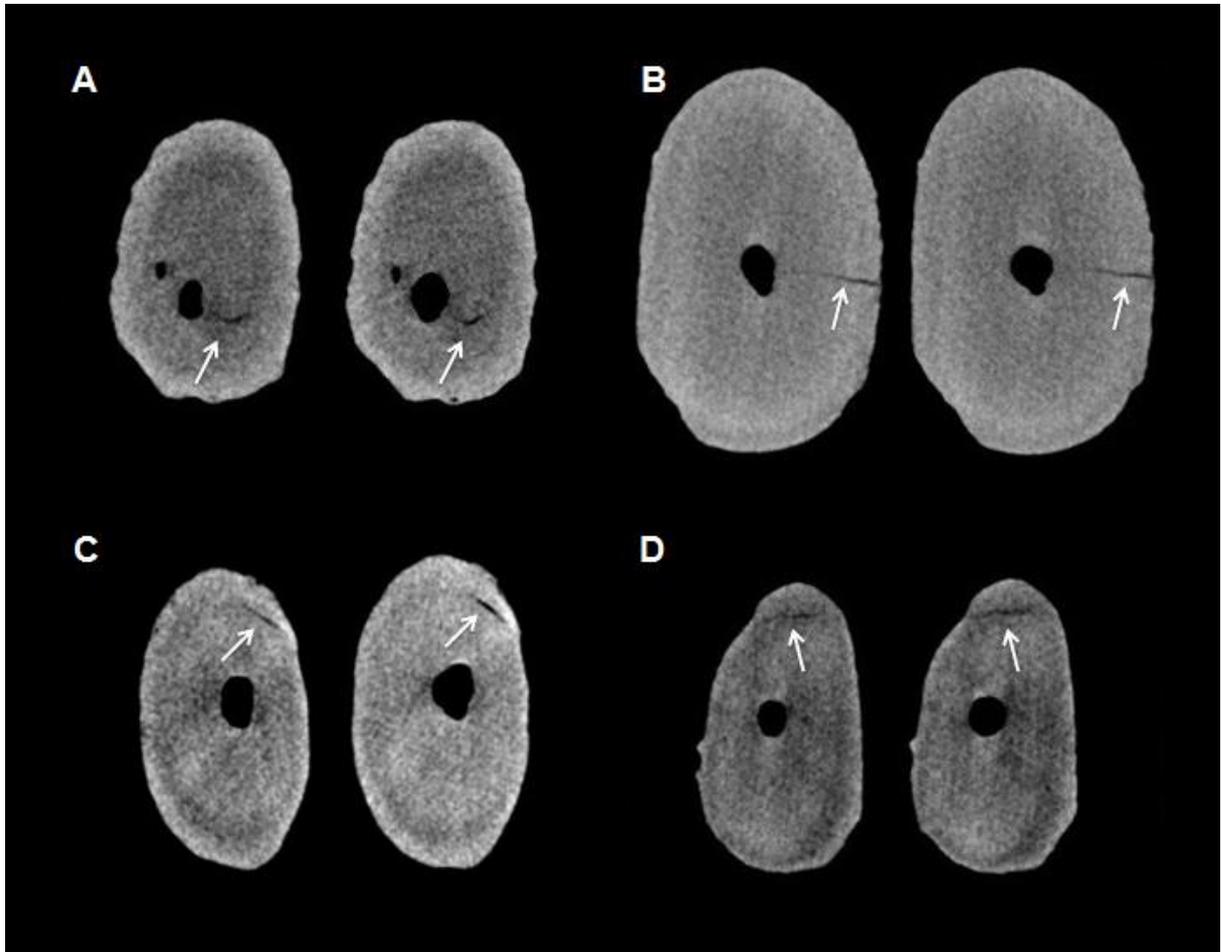


Figura 1. Imagens de micro-CT representativas obtidas a partir de 4 incisivos inferiores, antes e após a instrumentação do canal radicular com: (A) WaveOne Gold quando a instrumentação foi finalizada no forame apical (FA); (B) WaveOne Gold quando a instrumentação foi finalizada 1 mm aquém do forame apical (FA-1 mm); (C) Unicone quando a instrumentação foi finalizada no FA; (D) Unicone quando a instrumentação foi finalizada em FA-1 mm. As linhas de fissura são indicadas pelas setas.

Tabela 1. Distribuição dos cortes (n = 22.880) apresentando microfissuras apicais de acordo com o sistema e comprimento de trabalho.

Sistema	Comprimento de Trabalho		Total (%)
	FA (%)	FA-1 mm (%)	
WaveOne Gold	262 (1,15)	362 (1,58)	624 (2,73)
Unicone	180 (0,79)	254 (1,11)	434 (1,90)
Total	442 (1,93)	616 (2,69)	1058 (4,62)

FA, forame apical.

DISCUSSÃO

Desde a introdução dos sistemas reciprocantes, vários estudos têm descrito uma incidência contraditória e preocupante de defeitos dentinários gerados por estes instrumentos. Por exemplo, Liu et al. (16) e Topçuoğlu et al. (17) verificaram que 5% dos dentes preparados com Reciproc (VDW, Munique, Alemanha) e WaveOne (Dentsply Maillefer) apresentavam fissuras dentinárias. Em contraste, outros estudos (18,19) verificaram que a instrumentação com esses mesmos instrumentos reciprocantes produziu defeitos dentinários em 46,6% dos espécimes no nível apical.

A maioria desses estudos utilizou o método de seccionamento radicular pelo qual, após a instrumentação do canal radicular, os espécimes são seccionados em vários níveis a partir do ápice, e as fatias resultantes são observadas através de um estereomicroscópio. Essa metodologia parecia ser uma forma segura de cortar as raízes, pois seus grupos de controle negativo, compostos por dentes não instrumentados, eram desprovidos de fissuras após os procedimentos de seccionamento (6). No entanto, um estudo recente (7) mostrou que fatias de raízes não instrumentadas apresentavam defeitos que não podiam ser visualizados sem transiluminação com LED, pondo em questão a confiabilidade do método acima mencionado.

A necessidade de empregar um método mais reproduzível para avaliar microfissuras dentinárias levou os autores a utilizar a microtomografia computadorizada na presente investigação. Esta tecnologia altamente precisa fornece imagens de alta resolução em todas as três dimensões sem o pré-requisito do seccionamento das amostras, permitindo a avaliação de defeitos dentinários

antes e após a instrumentação do canal radicular no mesmo dente (10). Sob essa metodologia de micro-CT, o presente estudo revelou que nenhuma microfissura foi atribuída à instrumentação com os sistemas reciprocantes testados. Esse resultado está de acordo com De-Deus et al. (10) e Lim et al. (13), que também mostraram uma falta de relação entre a formação de microfissuras e o preparo biomecânico com instrumentos reciprocantes utilizando análise de micro-CT.

Fatores como traumatismos sofridos pelo doador do dente, forças de extração e procedimentos de armazenamento foram sugeridos como responsáveis por fissuras dentinárias ou linhas rachadas presentes em alguns dentes extraídos (20). Portanto, defeitos dentinários pré-existentes devem ser esperados em amostras de estudos de microfissura. Conforme realizado nos estudos de seccionamento radicular, os espécimes pré-selecionados para o presente estudo foram avaliados através de um estereomicroscópio para descartar aqueles que exibissem defeitos externos. No entanto, as imagens de pré-instrumentação revelaram a presença de microfissuras apicais em 20% das amostras aqui utilizadas. Esse achado está de acordo com estudos anteriores de micro-CT (10-12,14), que também verificaram uma quantidade total de microfissuras dentinárias variando de 16,7%-34,6% em raízes não instrumentadas. Assim, apenas uma avaliação das superfícies radiculares sob ampliação não é suficiente para detectar todos os defeitos dentinários pré-existentes, os quais, somados aos produzidos pelo procedimento de seccionamento, podem induzir resultados falso-positivos quando uma metodologia destrutiva é empregada.

Uma microfissura dentinária pode se propagar gradualmente até uma fratura radicular vertical levando à extração dentária (21). No presente estudo, em que o comprimento longitudinal das microfissuras foi analisado antes e após a instrumentação do canal radicular através de análise de micro-CT, os procedimentos de instrumentação não foram relacionados com a propagação longitudinal das microfissuras pré-existentes. Este resultado apresenta relevância, uma vez que dentes que apresentam defeitos dentinários antes da instrumentação do canal não são um evento incomum devido a circunstâncias como trauma, função mastigatória e parafunções ocorridas durante a vida do paciente (22).

Foi afirmado que a instrumentação do FA aumenta o risco de defeitos dentários apicais (5). Os resultados de nosso estudo demonstraram que variações no comprimento de trabalho não influenciaram o desenvolvimento de microfissuras,

mesmo quando a instrumentação foi terminada no FA. Este é um achado importante para os clínicos, considerando que a instrumentação até um nível mais próximo possível do FA foi sugerida como forma de otimizar a desinfecção do canal radicular, especialmente nos casos de lesões periapicais, onde a porção mais apical do canal pode abrigar um nicho para a recolonização microbiana (23).

Um ponto crucial a respeito dos estudos que avaliam a incidência de microfissuras dentinárias é a subjetividade na análise das imagens, o que pode influenciar os resultados. No presente estudo, alguns cuidados foram realizados para garantir uma avaliação imparcial e diminuir as limitações de uma análise subjetiva. Os cortes transversais de micro-CT foram analisados por três especialistas em Endodontia experientes pré-calibrados, cegos para os grupos experimentais. É importante ressaltar que o operador que realizou os procedimentos experimentais não participou das avaliações das imagens. E para evitar que os examinadores estivessem cientes da presença de uma microfissura nas imagens de pré-instrumentação, as imagens de pós-instrumentação foram analisadas primeiro.

Embora no presente estudo o preparo biomecânico com sistemas reciprocantes não tenha sido relacionado ao desenvolvimento de microfissuras; é importante ressaltar que, além da remoção da dentina, vários outros fatores como curvatura da raiz (12,24), tamanho e formato do canal (24), presença de ligamento periodontal natural (20) e idade do dente (25) podem interagir em conjunto e influenciar a susceptibilidade à fratura. Por conseguinte, outros estudos de micro-CT são necessários para proporcionar uma melhor compreensão dos fatores relacionados com as microfissuras dentinárias e, conseqüentemente, permitir uma melhor prevenção e manejo dessa preocupante entidade.

Sob as condições testadas e dentro das limitações deste estudo *in vitro*, pôde-se concluir que a instrumentação de canais radiculares com os sistemas WaveOne Gold e Unicone, independentemente do comprimento de trabalho, não foi associada à formação de microfissuras apicais.

RESUMO EM PORTUGUÊS

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da preparação de canais radiculares utilizando sistemas reciprocantes de lima única em diferentes comprimentos de

trabalho sobre o desenvolvimento de microfissuras apicais utilizando imagens de microtomografia computadorizada (micro-CT). Quarenta incisivos inferiores humanos extraídos foram distribuídos aleatoriamente em 4 grupos ($n = 10$) de acordo com os sistemas e comprimentos de trabalho utilizados para preparar os canais radiculares: grupo A - WaveOne Gold no forame apical (FA), grupo B - WaveOne Gold 1 mm aquém do FA (FA-1 mm), grupo C - Unicone (FA), e grupo D - Unicone (FA-1mm). Escaneamentos de micro-CT foram realizados antes e após o preparo dos canais a uma resolução isotrópica de 14 μm . Em seguida, três examinadores avaliaram as imagens de secção transversal geradas para detectar microfissuras na porção apical das raízes. Microfissuras apicais foram visualizadas em 3, 1, 1 e 3 espécimes nos grupos A, B, C e D, respectivamente. Todas essas microfissuras observadas após o preparo dos canais radiculares já existiam antes da instrumentação, e não foi detectada nenhuma nova microfissura apical. Para todos os grupos, o número de cortes apresentando microfissuras após o preparo dos canais radiculares foi o mesmo verificado antes do preparo dos canais. O preparo de canais radiculares utilizando WaveOne Gold e Unicone, independentemente do comprimento de trabalho, não foi associado à formação de microfissuras apicais.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi apoiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), agência brasileira.

Agradecemos ao Laboratório de Microtomografia Computadorizada de Raios-X (LTC_RX) do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco pelas imagens de micro-CT.

REFERÊNCIAS

1. Yared G. Canal preparation using only one NiTi rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J* 2008;41:339-344.
2. Saleh AM, Vakili Gilani P, Tavanafar S, Schäfer E. Shaping ability of 4 different single-file systems in simulated S-shaped canals. *J Endod* 2015;41:548-552.

3. Bürklein S, Tsotsis P, Schäfer E. Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation. *J Endod* 2013;39:501-504.
4. Kansal R, Rajput A, Talwar S, Roongta R, Verma M. Assessment of dentinal damage during canal preparation using reciprocating and rotary files. *J Endod* 2014;40:1443-1446.
5. Liu R, Kaiwar A, Shemesh H, Wesselink PR, Hou B, Wu MK. Incidence of apical root cracks and apical dentinal detachments after canal preparation with hand and rotary files at different instrumentation lengths. *J Endod* 2013;39:129-132.
6. Bier CA, Shemesh H, Tanomaru-Filho M, Wesselink PR, Wu MK. The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation. *J Endod* 2009;35:236-238.
7. Coelho MS, Card SJ, Tawil PZ. Visualization enhancement of dentinal defects by using light-emitting diode transillumination. *J Endod* 2016;42:1110-1113.
8. Coelho MS, Card SJ, Tawil PZ. Light-emitting diode assessment of dentinal defects after root canal preparation with Profile, TRUShape, and WaveOne Gold systems. *J Endod* 2016;42:1393-1296.
9. Araújo VL, Souza-Gabriel AE, Cruz Filho AM, Pécora JD, Silva RG. Volume of sealer in the apical region of teeth filled by different techniques: a micro-CT analysis. *Braz Oral Res* 2016;30.
10. De-Deus G, Silva EJ, Marins J, Souza E, Neves Ade A, Gonçalves Belladonna F, et al. Lack of causal relationship between dentinal microcracks and root canal preparation with reciprocation systems. *J Endod* 2014;40:1447-1450.
11. De-Deus G, Belladonna FG, Souza EM, Silva EJ, Neves Ade A, Alves H, et al. Micro-computed tomographic assessment on the effect of ProTaper Next and Twisted File Adaptive systems on dentinal cracks. *J Endod* 2015;41:1116-1119.
12. Ceyhanli KT, Erdilek N, Tatar I, Celik D. Comparison of ProTaper, RaCe and Safesider instruments in the induction of dentinal microcracks: a micro-CT study. *Int Endod J* 2016;49:684-689.

13. Lim H, Li FC, Friedman S, Kishen A. residual microstrain in root dentin after canal instrumentation measured with digital moiré interferometry. *J Endod* 2016;42:1397-1402.
14. De-Deus G, Belladonna FG, Marins JR, Silva EJ, Neves AA, Souza EM, et al. On the causality between dentinal defects and root canal preparation: a micro-ct assessment. *Braz Dent J* 2016;27:664-669.
15. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971;32:271-275.
16. Liu R, Hou BX, Wesselink PR, Wu MK, Shemesh H. The incidence of root microcracks caused by 3 different single-file systems versus the ProTaper system. *J Endod* 2013;39:1054-1056.
17. Topçuoğlu HS, Düzgün S, Akpek F, Topçuoğlu G. Effect of glide path and apical preparation size on the incidence of apical crack during the canal preparation using Reciproc, WaveOne, and ProTaper Next systems in curved root canals: A stereomicroscope study. *Scanning* 2016;38:585-590.
18. Helvacioğlu-Yigit D, Aydemir S, Yilmaz A. Evaluation of dentinal defect formation after root canal preparation with two reciprocating systems and hand instruments: an in vitro study. *Biotechnol Biotechnol Equip* 2015;29:368-373.
19. Ashwinkumar V, Krithikadatta J, Surendran S, Velmurugan N. Effect of reciprocating file motion on microcrack formation in root canals: an SEM study. *Int Endod J* 2014;47:622-627.
20. Arias A, Lee YH, Peters CI, Gluskin AH, Peters OA. Comparison of 2 canal preparation techniques in the induction of microcracks: a pilot study with cadaver mandibles. *J Endod* 2014;40:982-985.
21. Wilcox LR, Roskelley C, Sutton T. The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture. *J Endod* 1997;23:533-534.
22. Ratcliff S, Becker IM, Quinn L. Type and incidence of cracks in posterior teeth. *J Prosthet Dent* 2001;86:168-172.

23. Wu MK, Wesselink PR, Walton RE. Apical terminus location of root canal treatment procedures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000;89:99-103.

24. Sathorn C, Palamara JE, Palamara D, Messer HH. Effect of root canal size and external root surface morphology on fracture susceptibility and pattern: a finite element analysis. *J Endod* 2005;31:288-292.

25. Koester KJ, Ager JW 3rd, Ritchie RO. The effect of aging on crack-growth resistance and toughening mechanisms in human dentin. *Biomaterials* 2008;29:1318-1328.

4.3.1 Normas do Periódico Brazilian Dental Journal

Form and preparation of manuscripts

THE FOLLOWING GUIDELINES MUST BE FOLLOWED CAREFULLY.

General

- • The authors must submit the manuscript in Word and in PDF, comprising the title page, text, tables, figure captions and figures (photographs, micrographs, radiographs, schematic drawings, graphs, computer-generated images, etc).
- • The manuscript must be typed in Times New Roman 12 font, with 1.5 spacing, 2.5-cm margins at each side. **DO NOT USE** bold letters, watermarks or other resources to make the text visually attractive.
- Pages should be numbered consecutively, starting with the summary.
- Full-length manuscripts are assembled in the following sections:

1)	Title	Page
2)	Summary and Key	Words
3)	Introduction; Material and Methods; Results; Discussion	
4)	Summary in Portuguese (an item necessary for Latin American Indexing Services that will be provided for non-Brazilian authors by the Journal)	
5)	Acknowledgements	(if any)
6)		References
7)		Tables
8)	Figure	captions
9)	Figures	

- All titles of sections (Introduction, Material and Methods, etc) must be capitalized in regular font type (not bold).
- Results and Discussion **MUST NOT** be joined in a single section.
- Short Communications and Case Reports should be divided into appropriate sections.

- Products, equipments and materials: the trade name must be followed by the manufacturer's name, city, state and country, within parentheses upon first mention. For further mentions, only the manufacturer's name is required.
- All abbreviations must be explained at first mention.

Title page

- The first page must contain the title of the manuscript, a short title (maximum of 40 characters, to be used as a running head), author(s) name(s) (no more than 6) and their Department(s), School(s) and/or University (s). **DO NOT INCLUDE** the author's titles (DDS, MSc, PhD, etc.) or position (Professor, Graduate student, etc.).
- Provide the name and **complete** address of the corresponding author (inform email, telephone and fax numbers).
- The title page must be uploaded at the website as a separate file (not included in the body of the manuscript).

Manuscript

- The first page of the manuscript must contain: title of the manuscript, short title with no more than 40 characters, and NO authors' names or identification.

Summary

- The second page should contain a summary of no more than 250 words, stating the aims, methods, results, and any conclusions drawn from the study. Do not use topics and paragraphs and do not cite references in the Summary.
- A list of key words (no more than 5) should be included below the summary in lowercase letters, separated by commas.

Introduction

- Summarize the purpose of the study, giving only pertinent references. Do not review existing literature extensively. State clearly the working

hypothesis.

Material and Methods

- Material and methods should be presented in sufficient detail to allow confirmation of the observations. **Indicate the statistical methods used, if applicable.**

Results

- Present the results in a logical sequence in the text, tables and figures, emphasizing the important information.
- Do not repeat in the text data contained in the tables and illustrations. The important observations should be emphasized.
- Do not repeat the same data in tables and figures.
- Describe the statistical data in this section.

Discussion

- Summarize the findings without repeating in detail the data given in the Results section.
- Relate your observations to other relevant studies and point out the implications of the findings and their limitations. Cite pertinent studies.
- Present your conclusions at the end of the Discussion, indicating how your study is pertinent and/or its clinical implications. Presentation of the conclusions in topics should be avoided.

Summary in Portuguese (for Brazilian authors only)

- The Summary in Portuguese should be **IDENTICAL** to the English version (Summary). **DO NOT INCLUDE** title and key words in Portuguese.

Acknowledgements

- Financial support by government agencies should be acknowledged. If

appropriate, technical assistance or assistance from colleagues may be acknowledged.

References

- References must follow the Journal's style. Authors should refer to a current issue of the BDJ for guidance on reference citation and presentation of the reference list.
- References must be numbered consecutively in the text in order of citation, within parentheses, without space between numbers: (1), (3,5,8), (10-15). **DO NOT USE** superscript numbers.
- For papers with two authors, cite both authors in the text, as follows: Ex: "According to Santos **and** Silva (1)...". If there are more than 3 authors, cite only the first author and add "et al.". Ex: "Pécora et al. (2) reported that..."
- All authors of each paper should be included in the Reference List unless there are 7 or more. In this case, the first 6 authors should be given, followed by "et al."
- The reference list must be typed at the end of the manuscript in numerical sequence. **No more than 25 references may be cited.**
- Citation of abstracts and books, as well as articles published in non-indexed journals should be avoided, unless absolutely necessary. **Do not cite references in Portuguese.**
- Abbreviations of journal titles should conform to those used in Dental Index. The style and punctuation of references must follow the format illustrated below:

Journal

articles

1. Lea SC, Landini G, Walmsley AD. A novel method for the evaluation of powered toothbrush oscillation characteristics. Am J Dent 2004;17:307-309.

Book

2. Shafer WG, Hine MK, Levy BM. A Textbook of Oral Pathology. 4th ed. Philadelphia: WB Saunders; 1983.

Chapter

in

a

Book

3. Walton RE, Rotstein I. Bleaching discolored teeth: internal and external. In: Principles and Practice of Endodontics. Walton RE (Editor). 2nd ed. Philadelphia: WB Saunders; 1996. p 385-400.

Tables

- Each table with its title must be typed after the text. Tables should be numbered with Arabic numerals. **DO NOT USE** vertical lines, bold letters and capital letters (except the initials).
- The corresponding title should appear at the top of each table.
- Tables must contain all necessary information and be understandable without allusions to the text.

Figures

- **BDJ WILL NOT ACCEPT FIGURES EMBEDDED IN FILES ORIGINATED IN TEXT-EDITING SOFTWARE (WORD OR SIMILAR) OR FIGURES ORIGINATED IN POWER POINT.**
- The digital files of the images should be generated in Photoshop, Corel or any other image-editing software and saved in the CD-ROM. Image files should have TIFF extension and 300 dpi minimum resolution. Only BLACK & WHITE figures are accepted. Save the figures in the CD-ROM.
- Lettering and identifying marks must be clear and sharp, and the critical areas of x-rays and photomicrographs must be demarcated and/or isolated.
- Separate parts of composite figures must be labeled with capital letters (A, B, C, etc). Single figures and composite figures must have minimum width of 8 cm and 16 cm, respectively.
- Figure captions should be numbered with Arabic numerals and typed on a separate page, after the lists of references or after the tables (if any)

Submission of manuscripts

CHECKLIST FOR AUTHORS PRIOR TO SUBMISSION

1. Submission letter;
2. Title page.
3. Manuscript file (text, tables, figure captions).
4. In the manuscript, observe:
 - identification of authors only on the title page.
 - text typed in Times New Roman 12 font, with 1.5 spacing, 2.5-cm margins at each side.
 - tables, figure captions and figures at the end of the manuscript.
5. Digital files of figures, black & white, saved in TIFF format with minimum resolution of 300 dpi.

There are no fees for submission and evaluation of articles.

The Technical Review Fee ranges from R\$450,00 to R\$ 550,00 Reais Brasileiros (for Brazilian authors) or U\$200 to 300 American dollars (for foreign authors) and will be charged to the corresponding author, even if only minor corrections to the manuscript are needed.

5 CONCLUSÕES

Dentro das limitações deste estudo *in vitro*, foi possível concluir que a habilidade de detecção verificada para ambos os sistemas de OCT avaliados torna-os promissoras ferramentas para o diagnóstico de microfissuras apicais. Adicionalmente, a instrumentação de canais radiculares utilizando sistemas manuais, rotatórios e reciprocantes, independentemente do comprimento de trabalho, não foi associada à formação de microfissuras radiculares apicais.

REFERÊNCIAS

- Abou El Nasr HM, Abd El Kader KG. Dentinal damage and fracture resistance of oval roots prepared with single-file systems using different kinematics. *J Endod.* 2014;40(6):849-51.
- Adorno CG, Yoshioka T, Suda H. The effect of root preparation technique and instrumentation length on the development of apical root cracks. *J Endod.* 2009;35(3):389-92.
- Adorno CG, Yoshioka T, Suda H. The effect of working length and root canal preparation technique on crack development in the apical root canal wall. *Int Endod J.* 2010;43(4):321-7.
- Adorno CG, Yoshioka T, Suda H. Crack initiation on the apical root surface caused by three different nickel-titanium rotary files at different working lengths. *J Endod.* 2011;37(4):522-5.
- Adorno CG, Yoshioka T, Jindan P, Kobayashi C, Suda H. The effect of endodontic procedures on apical crack initiation and propagation ex vivo. *Int Endod J.* 2013;46(8):763-8.
- Aguiar CM, Câmara AC. Radiological evaluation of the morphological changes of root canals shaped with ProTaper for hand use and the ProTaper and RaCe rotary instruments. *Aust Endod J.* 2008;34(3):115-9.
- Araújo VL, Souza-Gabriel AE, Cruz Filho AM, Pécora JD, Silva RG. Volume of sealer in the apical region of teeth filled by different techniques: a micro-CT analysis. *Braz Oral Res.* 2016;30.
- Arias A, Lee YH, Peters CI, Gluskin AH, Peters OA. Comparison of 2 canal preparation techniques in the induction of microcracks: a pilot study with cadaver mandibles. *J Endod.* 2014;40(7):982-5.
- Arslan H, Karataş E, Capar ID, Ozsu D, Doğanay E. Effect of ProTaper Universal, Endoflare, Revo-S, HyFlex coronal flaring instruments, and Gates Glidden drills on crack formation. *J Endod.* 2014;40(10):1681-3.
- Ashwinkumar V, Krithikadatta J, Surendran S, Velmurugan N. Effect of reciprocating file motion on microcrack formation in root canals: an SEM study. *Int Endod J.* 2014;47(7):622-27.
- Baumgartner JC, Falkler WA Jr. Bacteria in the apical 5 mm of infected root canals. *J Endod.* 1991;17(8):380-3.
- Bier CA, Shemesh H, Tanomaru-Filho M, Wesselink PR, Wu MK. The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation. *J Endod.* 2009;35(2):236-8.
- Bista B, Sadr A, Nazari A, Shimada Y, Sumi Y, Tagami J. Nondestructive assessment of current one-step self-etch dental adhesives using optical coherence tomography. *J Biomed Opt.* 2013;18(7):76020.

- Blum JY, Machtou P, Micallef JP. Location of contact areas on rotary Profile instruments in relationship to the forces developed during mechanical preparation on extracted teeth. *Int Endod J.* 1999;32(2):108-14.
- Braz AK, Kyotoku BB, Gomes AS. In vitro tomographic image of human pulp-dentin complex: optical coherence tomography and histology. *J Endod.* 2009;35(9):1218-21.
- Braz AK, Aguiar CM, Gomes AS. Evaluation of the integrity of dental sealants by optical coherence tomography. *Dent Mater.* 2011;27(4):e60-4.
- Bürklein S, Tsotsis P, Schäfer E. Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation. *J Endod.* 2013;39(4):501-4.
- Bürklein S, Börjes L, Schäfer E. Comparison of preparation of curved root canals with HyFlex CM and Revo-S rotary nickel-titanium instruments. *Int Endod J.* 2014;47(5):470-6.
- Can ED, Keleş A, Aslan B. Evaluation of the root filling quality of three root canal filling systems with micro-CT. *Int Endod J.* 2017;50(5):499-505.
- Cao T, Tey HL. High-definition optical coherence tomography - an aid to clinical practice and research in dermatology. *J Dtsch Dermatol Ges.* 2015;13(9):886-90.
- Caplan DJ, Weintraub JA. Factors related to loss of root canal filled teeth. *J Public Health Dent.* 1997;57(1):31-9.
- Cesario F, Hungaro Duarte MA, Duque JA, Alcalde MP, de Andrade FB, Reis So MV, De Vasconcelos BC, Vivan RR. Comparisons by microcomputed tomography of the efficiency of different irrigation techniques for removing dentinal debris from artificial grooves. *J Conserv Dent.* 2018;21(4):383-387.
- Ceyhanli KT, Erdilek N, Tatar I, Celik D. Comparison of ProTaper, RaCe and Safesider instruments in the induction of dentinal microcracks: a micro-CT study. *Int Endod J.* 2016;49(7):684-9.
- Choo-Smith LP, Dong CCS, Cheghorn B, Hewko M. Shedding new light on early caries detection. *J Can Dent Assoc.* 2008;74(10):913-8.
- Civjan S, Huget EF, DeSimon LB. Potential applications of certain nickel-titanium (nitinol) alloys. *J Dent Res.* 1975;54(1):89-96.
- Coelho MS, Card SJ, Tawil PZ. Visualization Enhancement of Dentinal Defects by Using Light-Emitting Diode Transillumination. *J Endod.* 2016a;42(7):1110-3.
- Coelho MS, Card SJ, Tawil PZ. Light-emitting Diode Assessment of Dentinal Defects after Root Canal Preparation with Profile, TRUShape, and WaveOne Gold Systems. *J Endod.* 2016b;42(9):1393-6.
- Cohen S, Blanco L, Berman L. Vertical root fractures: clinical and radiographic diagnosis. *J Am Dent Assoc.* 2003;134(4):434-41.

- Colston Jr BW, Everett MJ, Da Silva LB, Otis LL, Stroeve P, Nathel H. Imaging of hard and soft-tissue structure in the oral cavity by optical coherence tomography. *Appl Opt*. 1998;37(16):3582–5.
- Da Rosa RA, Santini MF, Cavenago BC, Pereira JR, Duarte MA, Só MV. Micro-CT Evaluation of Root Filling Removal after Three Stages of Retreatment Procedure. *Braz Dent J*. 2015;26(6):612-8.
- Dane A, Capar ID, Arslan H, Akçay M, Uysal B. Effect of Different Torque Settings on Crack Formation in Root Dentin. *J Endod*. 2016;42(2):304-6.
- de Alencar AH, Dummer PM, Oliveira HC, Pécora JD, Estrela C. Procedural errors during root canal preparation using rotary NiTi instruments detected by periapical radiography and cone beam computed tomography. *Braz Dent J*. 2010;21(6):543-9.
- de Arruda Bitencourt M, Pedro Rocha DG, da Silveira Bueno CE. Incidence of Dentinal Defects on the External Apical Root Surface after Instrumentation with WaveOne Reciprocating Files at Different Working Lengths. *J Endod*. 2017;43(3):491-495.
- De-Deus G, Silva EJ, Marins J, Souza E, Neves Ade A, Gonçalves Belladonna F, Alves H, Lopes RT, Versiani MA. Lack of causal relationship between dentinal microcracks and root canal preparation with reciprocation systems. *J Endod*. 2014;40(9):1447-50.
- De-Deus G, Belladonna FG, Souza EM, Silva EJ, Neves Ade A, Alves H, Lopes RT, Versiani MA. Micro-computed Tomographic Assessment on the Effect of ProTaper Next and Twisted File Adaptive Systems on Dentinal Cracks. *J Endod*. 2015;41(7):1116-9.
- de Lima Aboud LR, Lopes RT, Dos Santos BC, Pires Dos Santos TM, Costa Viana LA, Zaccaro Scelza MF. The Influence of Dentin Age and the Presence of Cracks in Removal of the Root Filling Material. *Iran Endod J*. 2018;13(3):331-336.
- Drukteinis S, Peciuliene V, Dummer PMH, Hupp J. Shaping ability of BioRace, ProTaper NEXT and Genius nickel-titanium instruments in curved canals of mandibular molars: a MicroCT study. *Int Endod J*. 2019;52(1):86-93.
- Ellis G. Incomplete tooth fracture- proposal for a new definition. *Br Dent J*. 2001;190(8):424-8.
- Elnour M, Khabeer A, AlShwaimi E. Evaluation of root canal morphology of maxillary second premolars in a Saudi Arabian sub-population: An in vitro microcomputed tomography study. *Saudi Dent J*. 2016;28(4):162-168.
- Espir CG, Nascimento-Mendes CA, Guerreiro-Tanomaru JM, Cavenago BC, Hungaro Duarte MA, Tanomaru-Filho M. Shaping ability of rotary or reciprocating systems for oval root canal preparation: a micro-computed tomography study. *Clin Oral Investig*. 2018 Mar 10. doi: 10.1007/s00784-018-2411-4. [Epub ahead of print]
- Ferreira F, Adeodato C, Barbosa I, Aboud L, Scelza P, Zaccaro Scelza M. Movement kinematics and cyclic fatigue of NiTi rotary instruments: a systematic review. *Int Endod J*. 2017;50(2):143-152.

- Ferreira LM, Visconti MA, Nascimento HA, Dallemolle RR, Ambrosano GM, Freitas DQ. Influence of CBCT enhancement filters on diagnosis of vertical root fractures: a simulation study in endodontically treated teeth with and without intracanal posts. *Dentomaxillofac Radiol.* 2015;44(5):20140352.
- Gergi RM, Osta NE, Naaman AS. Dentinal crack formation during root canal preparations by the twisted file adaptive, Reciproc and WaveOne instruments. *Eur J Dent.* 2015;9(4):508-12.
- Gher ME Jr, Dunlap RM, Anderson MH, Kuhl LV. Clinical survey of fractured teeth. *J Am Dent Assoc.* 1987;114(2):174-7.
- Guelzow A, Stamm O, Martus P, Kielbassa AM. Comparative study of six rotary nickel-titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation. *Int Endod J.* 2005;38(10):743-52.
- Helvacioğlu-Yigit D, Aydemir S, Yılmaz A. Evaluation of dentinal defect formation after root canal preparation with two reciprocating systems and hand instruments: an *in vitro* study. *Biotechnol Biotechnol Equip.* 2015;29(2):368-373.
- Hin ES, Wu MK, Wesselink PR, Shemesh H. Effects of self-adjusting file, Mtwo, and ProTaper on the root canal wall. *J Endod.* 2013;39(2):262-4.
- Hsieh YS1, Ho YC, Lee SY, Chuang CC, Tsai JC, Lin KF, Sun CW. Dental optical coherence tomography. *Sensors (Basel)* 2013;13(7):8928-49.
- Huang CC, Chang YC, Chuang MC, Lin HJ, Tsai YL, Chang SH, Chen JC, Jeng JH. Analysis of the width of vertical root fracture in endodontically treated teeth by 2 micro-computed tomography systems. *J Endod.* 2014;40(5):698-702.
- Huang D, Swanson A, Lin P, Schuman JS, Stinson WG, Chang W, Hee MR, Flotte T, Gregory K, Puliafito CA. Optical coherence tomography. *Science* 1991;254(5035):1178-81.
- Hülsmann M, Peters OA, Dummer PMH. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endod Topics* 2005;10(1):30-76.
- Iino Y, Ebihara A, Yoshioka T, Kawamura J, Watanabe S, Hanada T, Nakano K, Sumi Y, Suda H. Detection of a second mesiobuccal canal in maxillary molars by swept-source optical coherence tomography. *J Endod.* 2014;40(11):1865-8.
- Imai K, Shimada Y, Sadr A, Sumi Y, Tagami J. Noninvasive cross-sectional visualization of enamel cracks by optical coherence tomography *in vitro*. *J Endod.* 2012;38(9):1269-74.
- Jamleh A, Komabayashi T, Ebihara A, Nassar M, Watanabe S, Yoshioka T, Miyara K, Suda H. Root surface strain during canal shaping and its influence on apical microcrack development: a preliminary investigation. *Int Endod J.* 2015 Dec;48(12):1103-11.
- Kansal R, Rajput A, Talwar S, Roongta R, Verma M. Assessment of dentinal damage during canal preparation using reciprocating and rotary files. *J Endod.* 2014;40(9):1443-6.

- Karataş E, Gündüz HA, Kırıcı DÖ, Arslan H, Topçu MÇ, Yeter KY. Dentinal crack formation during root canal preparations by the twisted file adaptive, ProTaper Next, ProTaper Universal, and WaveOne instruments. *J Endod.* 2015;41(2):261-4.
- Kfir A, Elkes D, Pawar A, Weissman A, Tsesis I. Incidence of microcracks in maxillary first premolars after instrumentation with three different mechanized file systems: a comparative ex vivo study. *Clin Oral Investig.* 2017 Jan;21(1):405-411.
- Koester KJ, Ager JW 3rd, Ritchie RO. The effect of aging on crack-growth resistance and toughening mechanisms in human dentin. *Biomaterials* 2008;29(10):1318-28.
- Lam PP, Palamara JE, Messer HH. Fracture strength of tooth roots following canal preparation by hand and rotary instrumentation. *J Endod.* 2005;31(7):529-32.
- Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 1977;33(1):159-74.
- Lavinsky F, Lavinsky D. Novel perspectives on swept-source optical coherence tomography. *Int J Retina Vitreous* 2016;2:25.
- Lee SH, Lee JJ, Chung HJ, Park JT, Kim HJ. Dental optical coherence tomography: new potential diagnostic system for cracked-tooth syndrome. *Surg Radiol Anat.* 2016;38(1):49-54.
- Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH. Patterns of vertical root fracture: factors affecting stress distribution in the root canal. *J Endod.* 2003;29(8):523-8.
- Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH. Finite element analysis and strain-gauge studies of vertical root fracture. *J Endod.* 2003;29(8):529-34.
- Li SH, Lu Y, Song D, Zhou X, Zheng QH, Gao Y, Huang DM. Occurrence of Dentinal Microcracks in Severely Curved Root Canals with ProTaper Universal, WaveOne, and ProTaper Next File Systems. *J Endod.* 2015;41(11):1875-9.
- Lim H, Li FC, Friedman S, Kishen A. Residual Microstrain in Root Dentin after Canal Instrumentation Measured with Digital Moiré Interferometry. *J Endod.* 2016;42(9):1397-402.
- Liu R, Kaiwar A, Shemesh H, Wesselink PR, Hou B, Wu MK. Incidence of apical root cracks and apical dentinal detachments after canal preparation with hand and rotary files at different instrumentation lengths. *J Endod.* 2013;39(1):129-32.
- Liu R, Hou BX, Wesselink PR, Wu MK, Shemesh H. The incidence of root microcracks caused by 3 different single-file systems versus the ProTaper system. *J Endod.* 2013;39(8):1054-6.
- Lopes HP, Elias CN, Vieira MV, Siqueira JF Jr, Mangelli M, Lopes WS, Vieira VT, Alves FR, Oliveira JC, Soares TG. Fatigue Life of Reciproc and Mtwo instruments subjected to static and dynamic tests. *J Endod.* 2013;39(5):693-6.

Maia Filho EM, Rizzi Cde C, Coelho MB, Santos SF, Costa LM, Carvalho CN, Tavares RR, Soares JA. Shaping Ability of Reciproc, UnicOne, and Protaper Universal in Simulated Root Canals. *ScientificWorldJournal*. 2015;2015:690854.

Majkut P, Sadr A, Shimada Y, Sumi Y, Tagami J. Validation of Optical Coherence Tomography against Micro-computed Tomography for Evaluation of Remaining Coronal Dentin Thickness. *J Endod*. 2015;41(8):1349-52.

Marceliano-Alves MF, Sousa-Neto MD, Fidel SR, Steier L, Robinson JP, Pécora JD, Versiani MA. Shaping ability of single-file reciprocating and heat-treated multifile rotary systems: a micro-CT study. *Int Endod J*. 2015;48(12):1129-36.

Marciano MA, Duarte MA, Ordinola-Zapata R, Del Carpio Perochena A, Cavenago BC, Villas-Bôas MH, Minotti PG, Bramante CM, Moraes IG. Applications of micro-computed tomography in endodontic research. *Current Microscopy Contributions to Advances in Science and Technology* (A. Méndez-Vilas, Ed.)

Monga P, Bajaj N, Mahajan P, Garg S. Comparison of incidence of dentinal defects after root canal preparation with continuous rotation and reciprocating instrumentation. *Singapore Dent J*. 2015;36(1):29-33.

Mortman RE. Technologic advances in endodontics. *Dent Clin North Am*. 2011;55(3):461-80,

Mota CC, Fernandes LO, Cimões R, Gomes AS. Non-Invasive Periodontal Probing Through Fourier-Domain Optical Coherence Tomography. *J Periodontol* 2015;86(9):1087-94.

Nakajima Y, Shimada Y, Miyashin M, Takagi Y, Tagami J, Sumi Y. Noninvasive cross-sectional imaging of incomplete crown fractures (cracks) using swept-source optical coherence tomography. *Int Endod J*. 2012;45(10):933-41.

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.

Nishad SV, Shivamurthy GB. Comparative Analysis of Apical Root Crack Propagation after Root Canal Preparation at Different Instrumentation Lengths Using ProTaper Universal, ProTaper Next and ProTaper Gold Rotary Files: An In vitro Study. *Contemp Clin Dent*. 2018;50(2):34-38.

Oliveira BP, Câmara AC, Duarte DA, Gomes AS, Heck RJ, Antonino AC, Aguiar CM. Detection of Apical Root Cracks using Spectral-domain and Swept-source Optical Coherence Tomography. *J Endod*. 2017a;43(7):1148-51.

Oliveira BP, Câmara AC, Duarte DA, Heck RJ, Antonino AC, Aguiar CM. Micro-Computed Tomographic Analysis of Apical Microcracks before and after Root Canal Preparation by Hand, Rotary and Reciprocating Instruments at Different Working Lengths. *J Endod*. 2017b;43(7):1143-7.

Oliveira BP, Câmara AC, Duarte DA, Heck RJ, Antonino AC, Aguiar CM. Effect of Reciprocating Systems and Working Lengths on Apical Microcrack Development: a micro-CT Study. *Braz Dent J*. 2017c;28(6):710-14.

- Pasqualini D, Scotti N, Tamagnone L, Ellena F, Berutti E. Hand-operated and rotary ProTaper instruments: a comparison of working time and number of rotations in simulated root canals. *J Endod.* 2008;34(3):314-7.
- Pedullà E, Grande NM, Plotino G, Gambarini G, Rapisarda E. Influence of continuous or reciprocating motion on cyclic fatigue resistance of 4 different nickel-titanium rotary instruments. *J Endod.* 2013a;39(2):258-61.
- Pedullà E, Grande NM, Plotino G, Palermo F, Gambarini G, Rapisarda E. Cyclic fatigue resistance of two reciprocating nickel-titanium instruments after immersion in sodium hypochlorite. *Int Endod J.* 2013b;46(2):155-9.
- Pedullà E, Genovesi F, Rapisarda S, La Rosa GR, Grande NM, Plotino G, Adorno CG. Effects of 6 Single-File Systems on Dentinal Crack Formation. *J Endod.* 2017;43(3):456-61.
- Ramazani N, Mohammadi A, Amirabadi F, Ramazani M, Ehsani F. In vitro investigation of the cleaning efficacy, shaping ability, preparation time and file deformation of continuous rotary, reciprocating rotary and manual instrumentations in primary molars. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.* 2016;10(1):49-56.
- Rashed B, Iino Y, Komatsu K, Nishijo M, Hanada T, Ebihara A, Sunakawa M, Sumi Y, Okiji T. Evaluation of Root Canal Anatomy of Maxillary Premolars Using Swept-Source Optical Coherence Tomography in Comparison with Dental Operating Microscope and Cone Beam Computed Tomography. *Photomed Laser Surg.* 2018;36(9):487-492.
- Ratcliff S, Becker IM, Quinn L. Type and incidence of cracks in posterior teeth. *J Prosthet Dent.* 2001;86(2):168-72.
- Ricucci D. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. Literature review. *Int Endod J.* 1998a;31(6):384-93.
- Ricucci D, Langeland K. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. A histological study. *Int Endod J.* 1998b;31(6):394-409.
- Rivera EM, Walton RE. Cracking the cracked tooth code: Detection and treatment of various longitudinal tooth fractures. *American Association of Endodontists. Colleagues for Excellence, Newsletter, Summer; 2008.*
- Rivera-Peña ME, Duarte MAH, Alcalde MP, DE Andrade FB, Vivan RR. A novel ultrasonic tip for removal of filling material in flattened/oval-shaped root canals: a microCT study. *Braz Oral Res.* 2018;13(32):e88.
- Rose E, Svec T. An Evaluation of Apical Cracks in Teeth Undergoing Orthograde Root Canal Instrumentation. *J Endod.* 2015;41(12):2021-4.
- Saleh AM, Vakili Gilani P, Tavanafar S, Schäfer E. Shaping ability of 4 different single-file systems in simulated S-shaped canals. *J Endod.* 2015;41(4):548-52.

Sathorn C, Palamara JE, Palamara D, Messer HH. Effect of root canal size and external root surface morphology on fracture susceptibility and pattern: a finite element analysis. *J Endod.* 2005;31(4):288-92.

Schaeffer MA, White RR, Walton RE. Determining the Optimal Obturation Length: A Meta-Analysis of Literature. *J Endod.* 2005;31(4):271-4.

Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am.* 1974;18(2):269-96.

Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1971;32(2):271-5.

Selvakumar H, Kavitha S, Thomas E, Anadhan V, Vijayakumar R. Computed Tomographic Evaluation of K3 Rotary and Stainless Steel K File Instrumentation in Primary Teeth. *J Clin Diagn Res.* 2016;10(1):ZC05-8.

Shemesh H, Soest GV, Wu M, van der Sluis LW, Wesselink PR. The ability of optical coherence tomography to characterize the root canals wall. *J Endod.* 2007;33(11):1369-73.

Shemesh H, Soest GV, Wu M, Wesselink PR. Diagnosis of vertical root fractures with optical coherence tomography. *J Endod.* 2008;34(6):739-42.

Shemesh H, Bier CA, Wu MK, Tanomaru-Filho M, Wesselink PR. The effects of canal preparation and filling on the incidence of dentinal defects. *Int Endod J.* 2009;42(3):208-13.

Shen Y, Stojicic S, Haapasalo M. Antimicrobial efficacy of chlorhexidine against bacteria in biofilms at different stages of development. *J Endod.* 2011;37(5):657-61.

Shimada Y, Sadr A, Sumi Y, Tagami J. Application of Optical Coherence Tomography (OCT) for Diagnosis of Caries, Cracks, and Defects of Restorations. *Curr Oral Health Rep.* 2015;2(2):73-80.

Silva EJ, Villarino LS, Vieira VT, Accorsi-Mendonça T, Antunes HD, De-Deus G, Lopes HP. Bending Resistance and Cyclic Fatigue Life of Reciproc, Unicore, and WaveOne Reciprocating Instruments. *J Endod.* 2016a;42(12):1789-1793.

Silva EJ, Teixeira JM, Kudsi N, Sassone LM, Krebs RL, Coutinho-Filho TS. Influence of Apical Preparation Size and Working Length on Debris Extrusion. *Braz Dent J.* 2016b;27(1):28-31.

Silva EJ, Perez R, Valentim RM, Belladonna FG, De-Deus GA, Lima IC, Neves AA. Dissolution, dislocation and dimensional changes of endodontic sealers after a solubility challenge: A micro-CT approach. *Int Endod J.* 2016c;50(4):407-14.

Sim IG, Lim TS, Krishnaswamy G, Chen NN. Decision Making for Retention of Endodontically Treated Posterior Cracked Teeth: A 5-year Follow-up Study. *J Endod.* 2016;42(2):225-9.

Siqueira JF Jr, Rôças IN. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod.* 2008;34(11):1291-1301.e3.

Siqueira JF Jr, Alves FR, Versiani MA, Rôças IN, Almeida BM, Neves MA, Sousa-Neto MD. Correlative bacteriologic and micro-computed tomographic analysis of mandibular molar mesial canals prepared by self-adjusting file, reciproc, and twisted file systems. *J Endod.* 2013;39(8):1044-50.

Sjogren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod.* 1990;16(10):498-504.

Somma F, Cretella G, Carotenuto M, Pecci R, Bedini R, De Biasi M, Angerame D. Quality of thermoplasticized and single point root fillings assessed by micro-computed tomography. *Int Endod J.* 2011;44(4):362-9.

Song YL, Bian Z, Fan B, Fan MW, Gutmann JL, Peng B. A comparison of instrument-centering ability within the root canal for three contemporary instrumentation techniques. *Int Endod J.* 2004;37(4):265-71.

Soros C, Zinelis S, Lambrianidis T, Palaghias G. Spreader load required for vertical root fracture during lateral compaction ex vivo: evaluation of periodontal simulation and fracture load information. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008;106(2):e64-70.

Souza RA. The importance of apical patency and cleaning of the apical foramen on root canal preparation. *Braz Dent J.* 2006;17(1):6-9.

Souza RA, Dantas Jda C, Colombo S, Lago M, Pécora JD. Apical limit of root canal filling and its relationship with success on endodontic treatment of a mandibular molar: 11-year follow-up. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011;112(1):e48-50.

Su MI, Chen CY, Yeh HI, Wang KT. Concise Review of Optical Coherence Tomography in Clinical Practice. *Acta Cardiol Sin.* 2016;32(4):381-6.

Swain MV, Xue J. State of the art of Micro-CT applications in dental research. *Int J Oral Sci.* 2009;1(4):177-88.

Tamse A, Kaffe I, Lustig J, Ganor Y, Fuss Z. Radiographic features of vertically fractured endodontically treated mesial roots of mandibular molars. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006;101(10):797-802.

Todea C, Balabuc C, Sinescu C, Filip L, Kerezsi C, Calniceanu M, Negrutiu M, Bradu A, Hughes M, Podoleanu AG. En face optical coherence tomography investigation of apical microleakage after laser-assisted endodontic treatment. *Lasers Med Sci.* 2010;25(5):629-39.

Topçuoğlu HS, Düzgün S, Akpek F, Topçuoğlu G. Effect of glide path and apical preparation size on the incidence of apical crack during the canal preparation using Reciproc, WaveOne, and ProTaper Next systems in curved root canals: A stereomicroscope study. *Scanning.* 2016 Nov;38(6):585-590.

Versiani MA, Pecora JD, Sousa-Neto MD. Flat-oval root canal preparation with self-adjusting file instrument: a micro-computed tomography study. *J Endod.* 2011;37(7):1002-7.

- Versiani MA, Souza E, De-Deus G. Critical appraisal of studies on dentinal radicular microcracks in endodontics: methodological issues, contemporary concepts, and future perspectives. *Endod Topics* 2015;33(1):87-156.
- Villas-Boas MH, Bernardineli N, Cavenago BC, Marciano M, Del Carpio-Perochena A, de Moraes IG, Duarte MAH, Bramante, CM, Ordinola-Zapata R. Micro-computed tomography study of the internal anatomy of mesial root canals of mandibular molars. *J Endod*. 2011;37(12):1682-6.
- Vyver PJ, Paleker F, Vorster M, de Wet FA. Root Canal Shaping Using Nickel Titanium, M-Wire, and Gold Wire: A Micro-computed Tomographic Comparative Study of One Shape, ProTaper Next, and WaveOne Gold Instruments in Maxillary First Molars. *J Endod*. 2019;45(1):62-67.
- Walia H, Brantley W, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod*. 1988;14(7):346-51
- Walton RE, Michelich RJ, Smith GN. The histopathogenesis of vertical root fractures. *J Endod*. 1984;10(2):48-56.
- Wayman BE, Murata SM, Almeida RJ, Fowler CB. A bacteriological and histological evaluation of 58 periapical lesions. *J Endod*. 1992;18(4):152-5.
- Wilcox LR, Roskelley C, Sutton T. The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture. *J Endod*. 1997;23(8):533-4.
- Wu MK, Wesselink PR, Walton RE. Apical terminus location of root canal treatment procedures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2000;89(1):99-103.
- Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J*. 2008;41(4):339-44.
- Yoldas O, Yilmaz S, Atakan G, Kuden C, Kasan Z. Dentinal microcrack formation during root canal preparations by different NiTi rotary instruments and the self-adjusting file. *J Endod*. 2012;38(2):232-5.
- Yoshioka T, Sakaue H, Ishimura H, Ebihara A, Suda H, Sumi Y. Detection of root surface fractures with swept-source optical coherence tomography (SS-OCT). *Photomed Laser Surg*. 2013;31(1):23-7.
- Young GR, Parashos P, Messer HH. The principles of techniques for cleaning root canals. *Aust Dent J*. 2007;52(1 Suppl):S52-63.
- Zhao D, Shen Y, Peng B, Haapasalo M. Micro-computed tomography evaluation of the preparation of mesiobuccal root canals in maxillary first molars with HyFlex CM, Twisted Files, and K3 instruments. *J Endod*. 2013;39(3):385-8.
- Zuolo ML, De-Deus G, Belladonna FG, Silva EJ, Lopes RT, Souza EM, Versiani MA, Zaia AA. Micro-computed Tomography Assessment of Dentinal Micro-cracks after Root Canal Preparation with TRUShape and Self-adjusting File Systems. *J Endod*. 2017;43(4):619-622.

APÊNDICE A – ARTIGO “DETECTION OF APICAL ROOT CRACKS USING SPECTRAL-DOMAIN AND SWEPT-SOURCE OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY”

Detection of Apical Root Cracks Using Spectral Domain and Swept-source Optical Coherence Tomography



Bruna Paloma de Oliveira, DDS, MSc,* Andréa Cruz Câmara, DDS, MSc, PhD,* Daniel Amancio Duarte, MSc,[†] Anderson Stevens Leonidas Gomes, MSc, PhD,[‡] Richard John Heck, MSc, PhD,[§] Antonio Celso Dantas Antonino, MSc, PhD,[†] and Carlos Menezes Aguiar, DDS, MSc, PhD*

Abstract

Introduction: This study aimed to evaluate the ability of 2 optical coherence tomographic (OCT) systems to detect apical dentinal microcracks. **Methods:** Twenty extracted human single-rooted mandibular incisors were selected. After root canal preparation with an R40 Reciproc file (VDW, Munich, Germany), the specimens presenting apical microcracks were identified using micro-computed tomographic (micro-CT) scanning as the gold standard. Then, the apical portions of the roots were imaged with spectral domain OCT (SD-OCT) and swept-source OCT systems, and the resulting images were blindly evaluated by 3 independent examiners to detect microcracks. The diagnostic performance of each OCT device was calculated, and statistical analysis was performed. **Results:** Based on the micro-CT images, 12 (60%) roots presented dentinal microcracks in the apical region. The images generated by the OCT systems were able to show microcrack lines at the same location as the corresponding micro-CT cross sections. Although the diagnostic performance of the SD-OCT device was superior, there were no statistically significant differences between the 2 OCT devices ($P > .05$). Inter-examiner agreement was substantial to almost perfect for the SD-OCT system and moderate to almost perfect for the swept-source OCT system, whereas intra-examiner agreement was substantial to almost perfect for both OCT devices. **Conclusions:** The detection ability verified for both OCT systems renders them promising tools for the diagnosis of apical microcracks. (*J Endod* 2017;43:1148–1151)

Key Words

Dentinal crack, diagnosis, micro-computed tomography, optical coherence tomography, Reciproc, root canal

Dentinal cracks are a specific condition that may influence the long-term survival of the affected tooth (1). Clinically, microorganisms may proliferate in crack lines, leading to the establishment of biofilm on the root surface (2). Additionally, vertical root fractures may occur because of microcrack propagation (3). Thus, the early diagnosis of dentinal microcracks is fundamental to prevent complications (4).

However, cracked teeth are considered a diagnostic challenge to clinicians because of the variable signs and symptoms presented along with the difficulty of locating the crack lines (1, 5). The current available methods to diagnose cracked teeth include radiography, cone-beam computed tomographic imaging, transillumination, periodontal probing, the bite test, staining with methylene blue, surgical exploration, and operative microscope examination. Nevertheless, all of these are limited in providing a definitive diagnosis (6, 7). Thus, a crucial goal in endodontic research is to seek a more reliable method to diagnose dentinal microcracks.

Optical coherence tomographic (OCT) imaging is a noninvasive imaging method that provides high-resolution cross-sectional images of internal biological tissues (8). This technology works in a similar way to ultrasound but uses light instead of high-frequency sound (9) and is currently used in several clinical applications such as ophthalmology (10), cardiology (11), and dermatology (12). In dentistry, OCT imaging has been proposed as a powerful tool to evaluate caries (13), dental materials (14), periodontal structures (15), and oral cancer (16). Its application in the field of endodontics has also been studied, showing its ability to assess root canal anatomy and uncleaned areas after canal preparation (17).

Some studies have analyzed the use of OCT imaging for the diagnosis of root fractures (18, 19), suggesting the possibility of applying this technology in clinical practice. However, the evidence remains insufficient. Therefore, the purpose of the present study was to evaluate the ability of 2 OCT systems to detect dentinal microcracks in the apical portion of extracted human teeth.

Significance

The current available methods to diagnose cracked teeth are limited in providing a definitive diagnosis. This study showed that both OCT systems tested have the potential to become powerful tools for the diagnosis of dentinal microcracks.

From the *Department of Prosthodontics and Oral and Maxillofacial Surgery, Dental School, [†]Department of Nuclear Energy, and [‡]Department of Physics, Federal University of Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil; and [§]Department of Land Resource Science, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada.

Address requests for reprints to Dr Brunna Paloma de Oliveira, Av Prof Moraes Rego s/n, Cidade Universitária, Recife, PE, Brazil 50670901.

E-mail address: bruna_paloma@msn.com

0099-2399/\$ - see front matter

Copyright © 2017 American Association of Endodontists.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2017.01.019>

Materials and Methods

Sample Selection and Preparation

After approval from the ethics committee (Federal University of Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil; protocol no. 1.575.380), 20 extracted human single-rooted mandibular incisors with no open apices, previous endodontic treatment, dental calculus, hypercementosis, internal/external resorption, or root caries were selected. The specimens were extracted for reasons not related to this study and stored in purified filtered water until use.

Initially, the crowns of the teeth were removed using a low-speed saw (Isomet; Buehler Ltd, Lake Bluff, IL) under water cooling. The working length was determined by introducing a size 10 K-file (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) into the canal until it reached the apical foramen. Root canals were then prepared using a Reciproc R40 (40/0.06) (VDW, Munich, Germany) file. The instrument was used in a reciprocating slow in-and-out pecking motion until the working length was reached. After 3 pecking motions, the flutes of the instrument were cleaned, and the canals were irrigated. Each canal was irrigated using a syringe and a 30-G needle with a total of 15 mL 1% sodium hypochlorite. The final irrigation was performed using 5 mL distilled water. Each instrument was used to prepare 4 canals only and was operated with a low-torque motor (X-Smart Plus, Dentsply Maillefer) set at the Reciproc program. A single operator completed all preparations.

Micro-computed Tomographic Scanning as the Gold Standard

After biomechanical preparation, the specimens presenting dentinal microcracks in the apical portion of the roots were identified by 2 observers using micro-computed tomographic (micro-CT) scanning (XTH225ST; Nikon, Tokyo, Japan) as the gold standard. Exposure parameters were set at an isotropic resolution of $9\ \mu\text{m}$, voltage of 49 kV, and current of $139\ \mu\text{A}$ (20). Each root was mounted on the computer-controlled rotary stage of the micro-CT system so that the X-ray beam was perpendicular to the long axis of the root. Scanning was performed with a 360° rotation around the vertical axis with a rotation step of 0.12° . To reduce ring artifacts and minimize the beam hardening effect, an air calibration of the detector was performed before the scans. Images of each specimen were reconstructed with CT Pro 3D v.XT3.1.3 software (Nikon Metrology NV, Tring, UK). Then, VGStudio MAX v.2.2

software (Volume Graphics, Heidelberg, Germany) was used to smooth images by Gaussian filtering application and to provide cross sections of the internal structure of the roots.

Scanning with the OCT Systems

Subsequently, the apical portion of the roots was scanned using 2 OCT systems: spectral domain OCT (SD-OCT) (Callisto, Thorlabs, Newton, NJ) and swept-source OCT (SS-OCT) (OCS1300SS, Thorlabs).

For image generation, the OCT devices produce an interference pattern by splitting the beam of light source into 2 paths: the reference arm and the sample arm. After scanning the area of interest, the back-scattered light from the sample is recombined with light from the reference arm, digitized, and then analyzed in the Fourier domain to provide 2- and 3-dimensional images (21). In this study, the scanning light beam of the OCT systems was oriented parallel to the long axis of the teeth above the root apex.

The SD-OCT system uses a superluminescent diode with a central wavelength of 930 nm as a light source at a 1.2-kHz axial scan rate, 100-nm spectral bandwidth, and a maximum output power of 5 mW. Images generated by this system present a lateral resolution of $8\ \mu\text{m}$ and an axial resolution of $7\ \mu\text{m}$ in air, which is equal to $5.3\ \mu\text{m}$ in tissue. Two frames are captured per second, and the maximum image depth is approximately 1.7 mm.

The SS-OCT system incorporates a tunable laser as a light source that repetitively sweeps the central wavelength of 1325 nm at a 16-kHz axial scan rate, $>100\text{-nm}$ spectral bandwidth, and an average output power $\approx 10\ \text{mW}$. Regarding imaging capability, this system captures 25 frames per second, with a lateral resolution of $25\ \mu\text{m}$ and an axial resolution of $12\ \mu\text{m}$ in air, which is equal to $9\ \mu\text{m}$ in tissue. The maximum image depth is approximately 3 mm.

Image processing software (ImageJ, v.1.48; National Institutes of Health, Bethesda, MD) was used to generate cross-sectional images of the roots.

Evaluation of Microcracks

Three independent examiners blindly evaluated the OCT cross-sectional images ($N = 10,880$) obtained from the 1.6-mm apical portion of the roots. The examiners were endodontic specialists previously trained with OCT images generated from teeth that were not included in the study sample. Each examiner scored the presence or absence of microcracks in the teeth according to a 5-point scale as

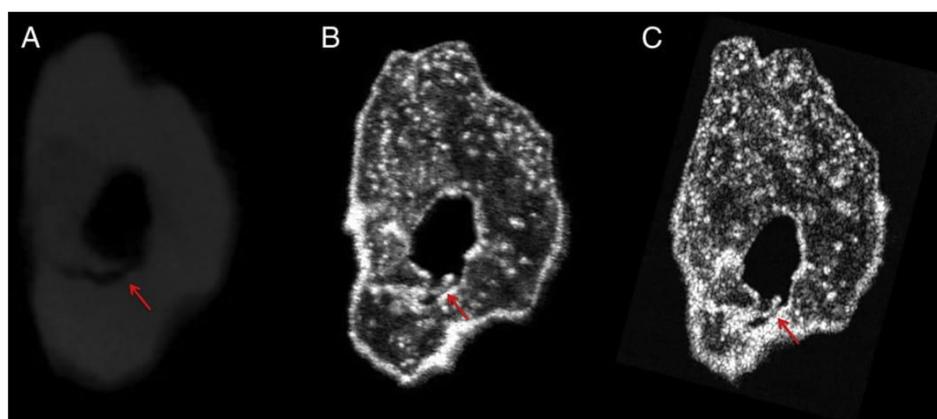


Figure 1. Representative cross-sectional images obtained from a mandibular incisor through (A) micro-CT, (B) SD-OCT, and (C) SS-OCT imaging. The crack line is indicated by the arrows.

Basic Research—Technology

TABLE 1. Diagnostic Performance of the Spectral Domain Optical Coherence Tomographic (SD-OCT) and Swept-source Optical Coherence Tomographic (SS-OCT) Devices

	Sensitivity	Specificity	PPV	NPV	Accuracy	AUC
SD-OCT device	0.917	0.875	0.917	0.875	0.900	0.964
SS-OCT device	0.833	0.750	0.833	0.750	0.800	0.833

AUC, area under the receiver operating characteristic curve; NPV, negative predictive value; PPV, positive predictive value.

follows: 1, definitely absent; 2, probably absent; 3, uncertain; 4, probably present; and 5, definitely present. The images were reassessed after an interval of 4 weeks.

Statistical Analysis

For statistical analysis, the results obtained from the microcrack assessment with SD-OCT and SS-OCT images were compared with the gold standard (micro-CT imaging). Sensitivity, specificity, positive predictive value, negative predictive value, and accuracy were determined for each OCT system and analyzed using the Fisher exact test. Moreover, the receiver operating characteristic (ROC) curve was calculated, and the areas under the ROC curves were compared using the DeLong test.

To assess the interexaminer and intraexaminer agreement, the weighted kappa test was used (poor agreement, 0.19; fair agreement, 0.20–0.39; moderate agreement, 0.40–0.59; substantial agreement, 0.60–0.79; and almost perfect agreement, 0.80–1.00) (22).

Data were analyzed using SPSS v.23 statistics software (SPSS Inc, Chicago, IL) and MedCalc for Windows v.14.8.1 (MedCalc Software BVBA, Ostend, Belgium). The significance level was 5%.

Results

Based on the micro-CT images, it was verified that 12 (60%) roots presented dentinal microcracks in the apical region. The cross-sectional images produced by micro-CT, SD-OCT, and SS-OCT scanning are shown in Figure 1. The images generated by the OCT systems were able to show microcrack lines at the same location as the corresponding micro-CT cross sections. The microcrack lines were observed in the micro-CT images as a dark line (arrow, Fig. 1A), whereas in the OCT system images the microcrack lines were presented as a cleft separating the dentin (arrows, Fig. 1B and 1C [also shown in dark surrounded by a white area]).

Table 1 shows the values for sensitivity, specificity, positive predictive value, negative predictive value, accuracy, and area under the ROC curve of each OCT device. The SD-OCT system presented superior diagnostic performance for all evaluated parameters; however, no statistically significant differences were found between the 2 OCT systems ($P > .05$).

The kappa values for the SD-OCT and SS-OCT devices are shown in Table 2. It can be seen that interexaminer agreement was substantial to almost perfect for the SD-OCT system and moderate to almost perfect for

the SS-OCT system. Intraexaminer agreement was substantial to almost perfect for both OCT devices.

Discussion

OCT is a valuable noninvasive imaging method for obtaining cross-sectional images of biological structures (8). In the field of endodontics, the detection of a second mesiobuccal canal in maxillary molars (23), the examination of crown and root fractures (6, 9, 18, 19, 24), and the analysis of the pulp-dentin complex (21, 25) using some OCT devices have already been explored.

To the best of the authors' knowledge, the present work is the first to evaluate the use of SD-OCT and SS-OCT imaging as diagnostic tools for detecting apical microcracks. In this study, narrow root canals were prepared with a single large tapered file (Reciproc R40), which may have resulted in a high level of stress concentrations on the root canal walls (26) and, consequently, the formation of dentinal defects in some teeth. However, this study did not focus on the incidence of apical microcracks caused by the biomechanical preparation; thus, micro-CT and OCT scanning was performed only after instrumentation.

The current investigation showed that both tested OCT systems were capable of providing clear images of the apical region and thus showed apical microcracks at the same location as the corresponding micro-CT cross sections. The SS-OCT device used here has a longer wavelength compared with the SD-OCT device, allowing a deeper visualization of the root structures. Furthermore, the SS-OCT device has faster imaging processing, which represents an important consideration in a clinical setting. However, this fast image acquisition rate of the SS-OCT device and the limitations intrinsic to its light source and other physical features provide lower-resolution images than the SD-OCT system used in this study (15). Thus, the superior diagnostic performance and the higher agreement among the examiners obtained with the SD-OCT device could be a result of the better resolution images provided by this device. Nevertheless, no statistically significant differences were verified between the 2 OCT systems.

In general, in OCT imaging when incident light is reflected between 2 media with different refractive indices (eg, air/water in a crack and the surrounding dentin), an intensified brightness is visualized in the corresponding OCT images (9). The few reported studies that have detected dentinal cracks using OCT devices (6, 9, 19, 24) have verified that crack lines are usually presented as bright lines. In our study,

TABLE 2. Weighted Kappa Values (95% Confidence Intervals) for Interexaminer and Intraexaminer Agreement for Spectral Domain Optical Coherence Tomographic (SD-OCT) and Swept-source Optical Coherence Tomographic (SS-OCT) Devices

Examiner	1	2	3
SD-OCT device			
1	0.89 (0.79–0.99)	0.88 (0.79–0.97)	0.83 (0.66–1.00)
2		0.88 (0.79–0.97)	0.89 (0.76–1.00)
3			0.94 (0.87–1.00)
SS-OCT device			
1	0.92 (0.83–1.00)	0.67 (0.46–0.88)	0.76 (0.55–0.97)
2		0.88 (0.78–0.98)	0.84 (0.71–0.97)
3			0.85 (0.71–0.99)

microcrack lines were presented as a cleft separating the dentin (shown as dark in the image and often surrounded by a white area) (Fig. 1). The main reason that can explain this apparent discrepancy is the orientation of the scanning light beam of the OCT systems in relation to the long axis of the teeth (9, 13, 27). In the studies indicated earlier, the light beam of the OCT systems was oriented perpendicularly to the long axis of the teeth, thereby going through interfaces with different refractive indices. On the other hand, in the present study, the light beam of the OCT systems was oriented parallel to the long axis of the teeth, above the root apex. In this case, the light propagated along the dentin (white scattering in the image) and along air/water (dark region in the image) and did not traverse any interface, consequently generating no interference effect.

Despite the acceptable accuracy verified for the SD-OCT and SS-OCT devices in this *in vitro* setting, their clinical use is currently limited because of their shallow light penetration (ie, a depth of just a few millimeters). Consequently, the *in vivo* application of these tools for the diagnosis of dentinal microcracks would be conditioned on exposure of the root by surgical intervention. Besides this, a suitable and inexpensive handpiece also needs to be developed to allow the use of OCT in all anatomic areas of the oral cavity (15). Therefore, further technological developments are required to ensure the clinical popularization of this technology.

The vast majority of studies evaluating the incidence of dentinal cracks after biomechanical preparation of the root canal have used a saw to section the roots at different levels from the apex in order to investigate fracture lines in the resulting slices (28–30). This sectioning method has some shortcomings that can induce false-positive results, given that dentinal cracks may occur because of the tooth sectioning procedure. Additionally, preexisting dentinal defects may not be detected before canal preparation (31, 32). Because OCT is a nondestructive, noncontact, high-resolution, nonradioactive, and an almost real-time monitoring method of imaging diagnostics, this technology may also be useful as an alternative to the root sectioning method. Further studies could be performed analyzing the presence of apical microcracks before and after root canal preparation using OCT imaging.

Within the limitations of this *in vitro* study, it was concluded that the detection ability verified for both OCT systems renders them a promising tool for the diagnosis of apical microcracks.

Acknowledgments

The authors would like to thank Patrícia F. Cassimiro da Silva for her help with the OCT scanning.

Supported by grants from Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brazil.

The authors deny any conflicts of interest related to this study.

References

1. Sim IG, Lim TS, Krishnaswamy G, et al. Decision making for retention of endodontically treated posterior cracked teeth: a 5-year follow-up study. *J Endod* 2016;42:225–9.
2. Shen Y, Stojicic S, Haapasalo M. Antimicrobial efficacy of chlorhexidine against bacteria in biofilms at different stages of development. *J Endod* 2011;37:657–61.
3. Wilcox LR, Roskelley C, Sutton T. The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture. *J Endod* 1997;23:533–4.
4. Rivera EM, Walton RE. *Cracking the cracked tooth code: detection and treatment of various longitudinal tooth fractures*. Chicago, IL: American Association of Endodontists. Colleagues for Excellence Newsletter; 2008.
5. Ellis G. Incomplete tooth fracture-proposal for a new definition. *Br Dent J* 2001;190:424–8.
6. Imai K, Shimada Y, Sadr A, et al. Noninvasive cross-sectional visualization of enamel cracks by optical coherence tomography *in vitro*. *J Endod* 2012;38:1269–74.
7. Ferreira LM, Visconti MA, Nascimento HA, et al. Influence of CBCT enhancement filters on diagnosis of vertical root fractures: a simulation study in endodontically treated teeth with and without intracanal posts. *Dentomaxillofac Radiol* 2015;44:20140352.
8. Huang D, Swanson EA, Lin CP, et al. Optical coherence tomography. *Science* 1991;254:1178–81.
9. Nakajima Y, Shimada Y, Miyashin M, et al. Noninvasive cross-sectional imaging of incomplete crown fractures (cracks) using swept-source optical coherence tomography. *Int Endod J* 2012;45:933–41.
10. Lavinsky F, Lavinsky D. Novel perspectives on swept-source optical coherence tomography. *Int J Retina Vitreous* 2016;2:25.
11. Su MI, Chen CY, Yeh HI, et al. Concise review of optical coherence tomography in clinical practice. *Acta Cardiol Sin* 2016;32:381–6.
12. Cao T, Tey HL. High-definition optical coherence tomography - an aid to clinical practice and research in dermatology. *J Dtsch Dermatol Ges* 2015;13:886–90.
13. Shimada Y, Sadr A, Sumi Y, et al. Application of optical coherence tomography (OCT) for diagnosis of caries, cracks, and defects of restorations. *Curr Oral Health Rep* 2015;2:73–80.
14. Braz AK, Aguiar CM, Gomes AS. Evaluation of the integrity of dental sealants by optical coherence tomography. *Dent Mater* 2011;27:e60–4.
15. Mota CC, Fernandes LO, Cimões R, et al. Non-invasive periodontal probing through Fourier-domain optical coherence tomography. *J Periodontol* 2015;86:1087–94.
16. Hsieh YS, Ho YC, Lee SY, et al. Dental optical coherence tomography. *Sensors (Basel)* 2013;13:8928–49.
17. Shemesh H, Soest GV, Wu M, et al. The ability of optical coherence tomography to characterize the root canals wall. *J Endod* 2007;33:1369–73.
18. Shemesh H, Soest GV, Wu M, et al. Diagnosis of vertical root fractures with optical coherence tomography. *J Endod* 2008;34:739–42.
19. Yoshioka T, Sakaue H, Ishimura H, et al. Detection of root surface fractures with swept-source optical coherence tomography (SS-OCT). *Photomed Laser Surg* 2013;31:23–7.
20. Huang CC, Chang YC, Chuang MC, et al. Analysis of the width of vertical root fracture in endodontically treated teeth by 2 micro-computed tomography systems. *J Endod* 2014;40:698–702.
21. Majkut P, Sadr A, Shimada Y, et al. Validation of optical coherence tomography against micro-computed tomography for evaluation of remaining coronal dentin thickness. *J Endod* 2015;41:1349–52.
22. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 1977;33:159–74.
23. Iino Y, Ebihara A, Yoshioka T, et al. Detection of a second mesiobuccal canal in maxillary molars by swept-source optical coherence tomography. *J Endod* 2014;40:1865–8.
24. Lee SH, Lee JJ, Chung HJ, et al. Dental optical coherence tomography: new potential diagnostic system for cracked-tooth syndrome. *Surg Radiol Anat* 2016;38:49–54.
25. Braz AK, Kyotoku BB, Gomes AS. *In vitro* tomographic image of human pulp-dentin complex: optical coherence tomography and histology. *J Endod* 2009;35:1218–21.
26. Bürklein S, Tsoisis P, Schäfer E. Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation. *J Endod* 2013;39:501–4.
27. Bista B, Sadr A, Nazari A, et al. Nondestructive assessment of current one-step self-etch dental adhesives using optical coherence tomography. *J Biomed Opt* 2013;18:76020.
28. Karataş E, Gündüz HA, Kırıcı DÖ, et al. Dentinal crack formation during root canal preparations by the twisted file adaptive, ProTaper Next, ProTaper Universal, and WaveOne instruments. *J Endod* 2015;41:261–4.
29. Dane A, Capar ID, Arslan H, et al. Effect of different torque settings on crack formation in root dentin. *J Endod* 2016;42:304–6.
30. Li SH, Lu Y, Song D, et al. Occurrence of dentinal microcracks in severely curved root canals with ProTaper Universal, WaveOne, and ProTaper Next File systems. *J Endod* 2015;41:1875–9.
31. De-Deus G, Belladonna FG, Souza EM, et al. Micro-computed tomographic assessment on the effect of ProTaper Next and Twisted File Adaptive systems on dentinal cracks. *J Endod* 2015;41:1116–9.
32. Coelho MS, Card SJ, Tawil PZ. Light-emitting diode assessment of dentinal defects after root canal preparation with Profile, TRUShape, and WaveOne Gold systems. *J Endod* 2016;42:1393–6.

APÊNDICE B – ARTIGO “MICRO-COMPUTED TOMOGRAPHIC ANALYSIS OF APICAL MICROCRACKS BEFORE AND AFTER ROOT CANAL PREPARATION BY HAND, ROTARY AND RECIPROCATING INSTRUMENTS AT DIFFERENT WORKING LENGTHS”

Micro-computed Tomographic Analysis of Apical Microcracks before and after Root Canal Preparation by Hand, Rotary, and Reciprocating Instruments at Different Working Lengths



Bruna Paloma de Oliveira, DDS, MSc,* Andréa Cruz Câmara, DDS, MSc, PhD,*
Daniel Amancio Duarte, MSc,[†] Richard John Heck, MSc, PhD,[‡]
Antonio Celso Dantas Antonino, MSc, PhD,[†] and Carlos Menezes Aguiar, DDS, MSc, PhD*

Abstract

Introduction: This study aimed to compare apical microcrack formation after root canal shaping by hand, rotary, and reciprocating files at different working lengths using micro-computed tomographic analysis. **Methods:** Sixty mandibular incisors were randomly divided into 6 experimental groups ($n = 10$) according to the systems and working lengths used for the root canal preparation: ProTaper Universal for Hand Use (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland), HyFlex CM (Coltene-Whaledent, Allstetten, Switzerland), and Reciproc (VDW, Munich, Germany) files working at the apical foramen (AF) and 1 mm short of the AF (AF – 1 mm). The teeth were imaged with micro-computed tomographic scanning at an isotropic resolution of 14 μm before and after root canal preparation, and the cross-sectional images generated were assessed to detect microcracks in the apical portion of the roots. **Results:** Overall, 17 (28.3%) specimens presented microcracks before instrumentation. Apical microcracks were present in 1 (ProTaper Universal for Hand Use), 3 (Hyflex CM), and 2 (Reciproc) specimens when the instrumentation terminated at the AF. When instrumentation was terminated at AF – 1 mm, apical microcracks were detected in 3 (ProTaper Universal for Hand Use) and 4 (Hyflex CM and Reciproc) specimens. All these microcracks detected after root canal preparation were already present before instrumentation, and no new apical microcrack was visualized. For all groups, the number of slices presenting microcracks after root canal preparation was the same as before canal preparation. **Conclusions:** Root canal shaping with ProTaper Universal for Hand Use, HyFlex CM, and Reciproc systems, regardless of the working length, did not produce apical microcracks. (*J Endod* 2017;43:1143–1147)

Key Words

Dental crack, HyFlex CM, micro-computed tomography, ProTaper, Reciproc, root canal preparation

A cracked tooth represents a diagnostic and restorative challenge to clinicians (1). Clinically, microorganisms may proliferate in crack lines, leading to the establishment of biofilms on the root surface (2). Additionally, the propagation of a microcrack may lead to a vertical root fracture and, ultimately, tooth loss (3, 4).

Root canal shaping has been suggested as a contributing factor to the induction of dentinal defects (5–7). Additionally, instrumentation to the apical foramen (AF) has been speculated to increase the risk of producing defects in apical root dentin (8–10). There are other claims that the smoothing out of fins and sharp edges may lead to a decrease in fractures (11, 12). However, reports from research data have been inconsistent concerning the incidence of root cracks after canal preparation with hand, rotary, and reciprocating files, often generating confusion and uncertainty on the part of practitioners who are seeking a safer instrument.

Most of the studies on the incidence of dentinal cracks have been based on the root sectioning method in which, after root canal instrumentation, the specimens are sectioned at various levels from the apex, and the resulting slices are observed through a stereomicroscope (13). The major shortcoming of this method is the impossibility of reliably evaluating defects previously present in the root dentin before canal preparation (14). In addition, the sectioning procedures can damage the dentin, inducing false-positive results (15).

In recent years, micro-computed tomographic (micro-CT) imaging has emerged as a highly accurate method of imaging widely used in endodontic research (16, 17). With this technology, it is possible to obtain a high-resolution, 3-dimensional image of

Significance

This study highlighted the importance of using nondestructive methods to provide a better understanding of the factors related to the induction of dentinal defects. Micro-CT analysis showed that, independent of the techniques or working lengths, no apical microcracks were generated.

From the *Department of Prosthodontics and Oral and Maxillofacial Surgery, Dental School and [†]Department of Nuclear Energy, Federal University of Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil; and [‡]Department of Land Resource Science, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada.

Address requests for reprints to Dr Bruna Paloma de Oliveira, Av Prof Moraes Rego s/n, Cidade Universitária, Recife, PE, Brazil 50670901. E-mail address:

bruna_paloma@msn.com

0099-2399/\$ - see front matter

Copyright © 2017 American Association of Endodontists.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2017.01.017>

Basic Research—Technology

teeth before and after canal preparation without sectioning the samples, enhancing the internal validity of *in vitro* experiments (18, 19).

To date, no studies have investigated the influence of the root canal preparation technique and instrumentation length on the occurrence of apical microcracks using a nondestructive methodology. Therefore, the aim of this study was to compare apical microcrack formation after root canal shaping by hand, rotary, and reciprocating files at different working lengths using micro-CT analysis. The null hypothesis tested was that neither the root canal preparation technique nor the instrumentation length has an effect on apical microcrack formation.

Materials and Methods

Sample Selection and Preparation

This study was submitted to and approved by the ethics committee of the Federal University of Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil. Freshly extracted human mandibular incisors with mature apices and single straight root canals ($<5^\circ$) (20) were selected. The specimens had been extracted for reasons unrelated to this study and stored in purified filtered water until use. All roots were inspected under a stereomicroscope (Stemi 2000-C; Zeiss, São Paulo, Brazil) with 12× magnification to exclude those with any external dentinal defect. Radiographs were taken from the mesiodistal and buccolingual planes to confirm the presence of a single root canal. Teeth with previous endodontic treatment, internal/external resorption, or root caries were discarded. To ensure standardization, the coronal portions of the teeth were sectioned approximately 13 mm from the apex using a low-speed saw (Isomet; Buehler Ltd, Lake Bluff, IL) under water cooling. For all teeth, the canal width near the apex was compatible with a size #10 K-file (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland). Using these criteria, we selected 60 specimens.

Subsequently, the specimens were imaged with a micro-CT scanner (XTH225ST; Nikon, Tokyo, Japan) at an isotropic resolution of 14 μm . X-rays were generated at 70 kV and 114 μA and filtered with a 1-mm-thick aluminum filter. An air calibration of the detector was performed before the scans to reduce ring artifacts and minimize the beam hardening effect. Images of each specimen were reconstructed with CT Pro 3D v.XT3.1.3 software (Nikon Metrology NV, Tring, UK). VGStudio MAX v.2.2 software (Volume Graphics, Heidelberg, Germany) was used to smooth the images using a Gaussian filtering application and to provide cross sections of the internal structure of the roots.

Root Canal Procedure

The distance between the reference plane and the AF of roots was determined by inserting a size #10 K-file (Dentsply Maillefer) into the canal until the tip of the file became visible at the AF. To simulate the periodontal ligament space, the surfaces of the roots were coated with a thin film of silicone-based impression material and embedded in acrylic resin (21).

The teeth were numbered and randomly divided into 6 experimental groups ($n = 10$) according to the technique and working length used for the root canal preparation. The following hand, rotary, and reciprocating files were tested: ProTaper Universal for Hand Use (Dentsply Maillefer), HyFlex CM (Coltene-Whaledent, Allstetten, Switzerland), and Reciproc (VDW, Munich, Germany). The instrumentations were terminated at the following levels: AF, instrumentation finished at the AF, and AF – 1 mm, instrumentation finished 1 mm short of the AF.

The glide path was performed using a size #15 K-file (Dentsply Maillefer) up to the working length. ProTaper Universal for Hand Use files were used in the following sequence: SX prepared the coronal portion of the canal, and, subsequently, S1, S2, F1, and F2 (25/0.08)

were used until the working length was reached. HyFlex CM files were used in a crown-down sequence using 25/0.08 (two thirds of the working length), 20/0.04, and 25/0.04 (the full working length) files. An R25 Reciproc instrument (25/0.08) was used in a reciprocating slow in-and-out pecking motion of approximately 3 mm in amplitude with a light apical pressure until the working length was reached.

Instrumentation with HyFlex CM and Reciproc files was performed with a low torque motor (X-Smart Plus, Dentsply Maillefer) according to instructions set by the manufacturer of each system. All root canal preparations were performed by a single operator, and each instrument was used to prepare 4 canals only. Composite resin was used to fix the rubber stoppers and avoid their displacement during instrumentation. Irrigation was performed using a total of 15 mL 1% sodium hypochlorite (Farmácia Escola Carlos Dumont de Andrade, Recife, Brazil) per canal administered with a syringe and a 30-G needle between the use of each instrument or after 3 pecking motions. The final irrigation was performed using 5 mL distilled water. After instrumentation, specimens were imaged again with a micro-CT scanner (postinstrumentation scan) using the aforementioned parameters.

Microcrack Evaluation

Micro-CT cross-sectional images generated before and after the root canal preparation ($N = 34,320$) were blindly evaluated by 3 examiners who were endodontic specialists to detect the presence of microcracks in the 4-mm apical portion of the roots. A microcrack was defined as any incomplete crack (line extending from the canal wall into the dentin without reaching the outer surface of the root), complete crack (line extending from the root canal wall to the outer surface), or craze line (other lines that did not reach any surface of the root or extend from the outer surface into the dentin but did not reach the canal wall) observed in the root dentin (5). If a microcrack line was detected in the postinstrumentation image, the preinstrumentation corresponding cross-sectional image also was inspected to verify the preexistence of a dentinal defect (22). The images were reassessed after an interval of 4 weeks. In case of discrepancy among the observations, the slices were examined again, and the examiners discussed the findings until they reached an agreement.

Results

Apical microcracks were detected in 17 (28.3%) specimens. Instrumentation terminated at the AF showed 1 (10%), 3 (30%), and 2 (20%) specimens presenting dentinal microcracks when canals were prepared with ProTaper Universal for Hand Use, Hyflex CM, and Reciproc, respectively. When instrumentation was terminated at AF – 1 mm, dentinal microcracks were presented in 3 (30%), 4 (40%), and 4 (40%) specimens prepared with ProTaper Universal for Hand Use, Hyflex CM, and Reciproc, respectively. All these microcracks detected after root canal preparation had already existed before instrumentation (Fig. 1). Thus, independent of the technique or working length used for the root canal preparation, no new apical microcrack was generated.

From a total of 34,320 slices obtained, 2586 (7.53%) showed some dentinal defect. The distribution of slices presenting microcracks in each group is summarized in Table 1. For all groups, the number of slices in which microcracks were detected after root canal preparation was the same as has been verified before canal preparation. Therefore, the longitudinal length of the preexisting microcracks was not modified. Because there were no new microcracks, statistical analysis was not performed.

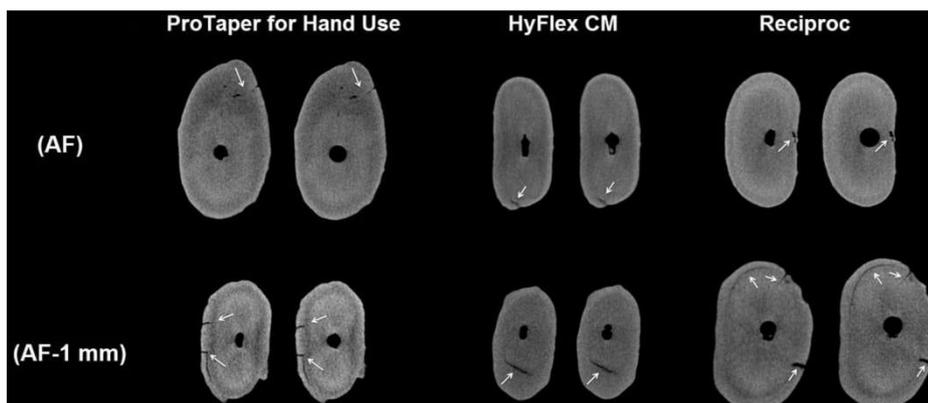


Figure 1. Representative micro-CT cross-sectional images obtained from 6 mandibular incisors before and after root canal preparation with ProTaper Universal for Hand Use, Hyflex CM, and Reciproc when instrumentation was terminated at the AF and AF – 1 mm. Crack lines are indicated by the *arrows*.

Discussion

In the present study, the incidence of apical microcracks after root canal preparation using ProTaper Universal for Hand Use, Hyflex CM, and Reciproc instruments at different working lengths was assessed. Hand, rotary, and reciprocating systems were chosen because of the inconsistent reports about their biomechanical impact on root dentin. For example, according to Bürklein et al (5) and Gergi et al (23), root canal preparation with reciprocating files (Reciproc and WaveOne [Dentsply Maillefer]) produced significantly more dentinal cracks than full-sequence rotary systems. In contrast, other studies (6, 24) verified that canal shaping with rotary files was associated significantly with the formation of more cracks than reciprocating systems. Meanwhile, although previous investigations have observed that instrumentation with hand files produced no dentinal cracks (13, 25, 26), it has also been reported (7, 27, 28) that the incidence of dentinal defects in root canals prepared with rotary or reciprocating files did not differ from those found when hand files were used.

The findings observed in the current study differ from previous research considering that, independent of the technique used for the root canal preparation, no microcrack was attributed to the instrumentation procedures. The main reason that can explain this inconsistency is the method used to detect dentinal defects. In the present study, micro-CT scanning was used to assess the presence of microcracks along the apical portion of the roots. This technology offers high-resolution images in all 3 dimensions without the need for sectioning the specimens, enabling an accurate comparison of the presence of microcracks before and after root canal shaping with the same tooth (22). Thus, in this methodology, each specimen acts as its own control.

Conversely, most of the previous studies that correlated biomechanical preparation and the development of dentinal defects have

used direct observation of specimens using a stereomicroscope after sectioning the root with a low-speed saw at different distances from the apex. Besides the potential to produce dentinal defects by the sectioning procedure itself, this sectioning method has other drawbacks that are important to point out here.

To ensure that the selected specimens did not have preexisting dentinal defects, root sectioning studies used a stereomicroscope to evaluate the root surfaces and discard those with craze lines or cracks. However, as observed in the present study, even after the specimens had been checked with a stereomicroscope, 28.3% of the teeth used here showed microcracks before biomechanical preparation. Similarly, earlier studies (18, 22, 29) also verified a total amount of preexisting dentinal defects ranging from 16.7%–34.6% using micro-CT scanning. Therefore, just an evaluation of the root surfaces under magnification is not enough to ensure that specimens are really free of microcracks.

These shortcomings may be the main reason for the contradictory incidences of dentinal defects verified previously for the same instrument. For instance, the percentage of mandibular incisors presenting dentinal defects after root canal preparation with Reciproc ranged from 5%–46.6% in published root sectioning studies (24, 28).

The sectioning method relied on a negative control group composed of uninstrumented teeth, which, in the vast majority of studies, showed no crack after being sectioned and observed using a stereomicroscope (5, 6, 24). However, recent research (15) has questioned the reliability of this negative control group, showing that most defects present in the slices of uninstrumented specimens cannot be visualized without light-emitting diode transillumination.

This evidence emphasizes the importance of transition from destructive to nondestructive experimental imaging methods to provide a better understanding of the factors related to the induction of dentinal defects. In the current study using micro-CT imaging, no new dentinal microcrack was detected after root canal preparation, which is in agreement with the findings of De-Deus et al (18, 22) and Lim et al (30) using a similar methodology. This result contrasts with Ceyhanli et al (29), who reported that instrumentation procedures significantly increased the number of dentinal microcracks verified in the micro-CT preinstrumentation images. The findings of the aforementioned study were attributed to the high curvature of the mesial roots of the mandibular first molars used, which ranged from 20°–40°. Further micro-CT studies are necessary to assess the effect of root canal curvature on the creation of dentinal microcracks.

TABLE 1. Distribution of Slices ($N = 34,320$) Presenting Apical Microcracks according to the System and Working Length

System	Working length		Total (%)
	AF (%)	AF – 1 mm (%)	
ProTaper	24 (0.07)	634 (1.85)	658 (1.92)
HyFlex CM	620 (1.81)	494 (1.44)	1114 (3.25)
Reciproc	332 (0.97)	482 (1.40)	814 (2.37)
Total	976 (2.84)	1610 (4.69)	2586 (7.53)

AF, apical foramen; AF – 1 mm, 1 mm short of the apical foramen.

Basic Research—Technology

Contrary to previous reports in the literature (8–10, 27), the present study showed that variations in the working length did not influence microcrack development, even when the instrumentation was terminated at the AF. This finding presents a substantial relevance to clinicians, given that the apical portion of the root canal may harbor a critical number of microorganisms able to maintain periradicular inflammation (31). For this reason, it is claimed that infected canals should be cleaned to a level as close to the AF as possible (32).

Considering that the more root dentin is removed, the more likely the root is to fracture (3, 33), some studies have proposed that the taper of the canal preparation could be a contributing factor in the generation of dentinal defects (10, 13, 21). However, as observed in the present investigation in which the groups presented different tapered preparations (0.04–0.08), no instrumentation-driven microcrack was observed. This observation is supported by Sathorn et al (33), who concluded that the amount of dentin removed is only 1 of many factors associated with fracture susceptibility. According to these authors, besides dentin reduction, parameters such as the curvature of the external proximal root surface and the canal size and shape might interact together to influence fracture susceptibility and pattern. Therefore, the removal of dentin does not necessarily result in higher fracture susceptibility (33).

In this study, an elastomeric impression material and acrylic resin were used to mimic the clinical situation; thus, the absence of natural periodontal ligament and bone was a limitation. According to Soros et al (34), there is no artificial material capable of absorbing the forces on teeth similarly to the natural periodontal ligament. In addition, previous investigations (14, 15, 30) have raised the possibility that shrinkage caused by storage conditions and dehydration of extracted teeth might create or propagate dentinal defects. In a root sectioning study using pig jaws, Rose and Svec (35) found that apical cracks were not observed in either instrumented or uninstrumented teeth, suggesting that the presence of natural periodontal structures may have absorbed the instrumentation impact and prevented microcracks. Likewise, a study using human cadaver mandibles (7) found no significant differences between the number of microcracks observed in either instrumented or uninstrumented teeth. Therefore, we believe that future investigations using an *in situ* fresh human cadaver model combined with a nondestructive imaging method will provide a more profound dimension regarding the formation of dentinal microcracks.

Within the limitations of this *in vitro* study, it can be concluded that root canal shaping with ProTaper Universal for Hand Use, HyFlex CM, and Reciproc systems, regardless of the working length, did not produce apical microcracks.

Acknowledgments

The authors would like to thank the X-ray Computed Tomography Laboratory (LTC_RX) of Nuclear Energy Department of Federal University of Pernambuco for the micro-CT scans.

Supported by grants from Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brazil

The authors deny any conflicts of interest related to this study.

References

1. Sim IG, Lim TS, Krishnaswamy G, et al. Decision making for retention of endodontically treated posterior cracked teeth: a 5-year follow-up study. *J Endod* 2016;42:225–9.
2. Shen Y, Stojicic S, Haapasalo M. Antimicrobial efficacy of chlorhexidine against bacteria in biofilms at different stages of development. *J Endod* 2011;37:657–61.
3. Wilcox LR, Roskelley C, Sutton T. The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture. *J Endod* 1997;23:533–4.
4. Tamse A, Kaffe I, Lustig J, et al. Radiographic features of vertically fractured endodontically treated mesial roots of mandibular molars. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006;101:797–802.
5. Bürklein S, Tsotsis P, Schäfer E. Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation. *J Endod* 2013;39:501–4.
6. Kansal R, Rajput A, Talwar S, et al. Assessment of dentinal damage during canal preparation using reciprocating and rotary files. *J Endod* 2014;40:1443–6.
7. Arias A, Lee YH, Peters CI, et al. Comparison of 2 canal preparation techniques in the induction of microcracks: a pilot study with cadaver mandibles. *J Endod* 2014;40:982–5.
8. Adorno CG, Yoshioka T, Suda H. The effect of root preparation technique and instrumentation length on the development of apical root cracks. *J Endod* 2009;35:389–92.
9. Adorno CG, Yoshioka T, Suda H. Crack initiation on the apical root surface caused by three different nickel-titanium rotary files at different working lengths. *J Endod* 2011;37:522–5.
10. Liu R, Kaiwar A, Shemesh H, et al. Incidence of apical root cracks and apical dentinal detachments after canal preparation with hand and rotary files at different instrumentation lengths. *J Endod* 2013;39:129–32.
11. Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH. Patterns of vertical root fracture: factors affecting stress distribution in the root canal. *J Endod* 2003;29:523–8.
12. Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH. Finite element analysis and strain-gauge studies of vertical root fracture. *J Endod* 2003;29:529–34.
13. Bier CA, Shemesh H, Tanomaru-Filho M, et al. The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation. *J Endod* 2009;35:236–8.
14. Coelho MS, Card SJ, Tawil PZ. Light-emitting diode assessment of dentinal defects after root canal preparation with Profile, TRUShape, and WaveOne Gold systems. *J Endod* 2016;42:1393–6.
15. Coelho MS, Card SJ, Tawil PZ. Visualization enhancement of dentinal defects by using light-emitting diode transillumination. *J Endod* 2016;42:1110–3.
16. Siqueira JF Jr, Alves FR, Versiani MA, et al. Correlative bacteriologic and micro-computed tomographic analysis of mandibular molar mesial canals prepared by self-adjusting file, reciproc, and twisted file systems. *J Endod* 2013;39:1044–50.
17. Can ED, Keleş A, Aslan B. Evaluation of the root filling quality of three root canal filling systems with micro-CT. *Int Endod J* 2016 [Epub ahead of print].
18. De-Deus G, Belladonna FG, Souza EM, et al. Micro-computed tomographic assessment on the effect of ProTaper Next and Twisted File Adaptive systems on dentinal cracks. *J Endod* 2015;41:1116–9.
19. Marceliano-Alves MF, Sousa-Neto MD, Fidel SR, et al. Shaping ability of single-file reciprocating and heat-treated multifile rotary systems: a micro-CT study. *Int Endod J* 2015;48:1129–36.
20. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971;32:271–5.
21. Arslan H, Karataş E, Capar ID, et al. Effect of ProTaper Universal, Endoflare, Revo-S, HyFlex coronal flaring instruments, and Gates Glidden drills on crack formation. *J Endod* 2014;40:1681–3.
22. De-Deus G, Silva EJ, Marins J, et al. Lack of causal relationship between dentinal microcracks and root canal preparation with reciprocation systems. *J Endod* 2014;40:1447–50.
23. Gergi RM, Osta NE, Naaman AS. Dentinal crack formation during root canal preparations by the twisted file adaptive, Reciproc and WaveOne instruments. *Eur J Dent* 2015;9:508–12.
24. Liu R, Hou BX, Wesselink PR, et al. The incidence of root microcracks caused by 3 different single-file systems versus the ProTaper system. *J Endod* 2013;39:1054–6.
25. Yoldas O, Yilmaz S, Atakan G, et al. Dentinal microcrack formation during root canal preparations by different NiTi rotary instruments and the self-adjusting file. *J Endod* 2012;38:232–5.
26. Hin ES, Wu MK, Wesselink PR, et al. Effects of self-adjusting file, Mtwo, and ProTaper on the root canal wall. *J Endod* 2013;39:262–4.
27. Adorno CG, Yoshioka T, Suda H. The effect of working length and root canal preparation technique on crack development in the apical root canal wall. *Int Endod J* 2010;43:321–7.
28. Helvacioğlu-Yigit D, Aydemir S, Yilmaz A. Evaluation of dentinal defect formation after root canal preparation with two reciprocating systems and hand instruments: an *in vitro* study. *Biotechnol Biotechnol Equip* 2015;29:368–73.
29. Ceyhanli KT, Erdilek N, Tatar I, et al. Comparison of ProTaper, RaCe and Safesider instruments in the induction of dentinal microcracks: a micro-CT study. *Int Endod J* 2016;49:684–9.
30. Lim H, Li FC, Friedman S, et al. Residual microstrain in root dentin after canal instrumentation measured with digital moiré interferometry. *J Endod* 2016;42:1397–402.
31. Siqueira JF Jr, Rôças IN. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod* 2008;34:1291–13013.

Basic Research—Technology

32. Wu MK, Wesselink PR, Walton RE. Apical terminus location of root canal treatment procedures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000;89:99–103.
33. Sathorn C, Palamara JE, Palamara D, et al. Effect of root canal size and external root surface morphology on fracture susceptibility and pattern: a finite element analysis. *J Endod* 2005;31:288–92.
34. Soros C, Zinelis S, Lambrianidis T, et al. Spreader load required for vertical root fracture during lateral compaction *ex vivo*: evaluation of periodontal simulation and fracture load information. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;106:e64–70.
35. Rose E, Svec T. An evaluation of apical cracks in teeth undergoing orthograde root canal instrumentation. *J Endod* 2015;41:2021–4.

APÊNDICE C – ARTIGO “EFFECT OF RECIPROCATING SYSTEMS AND WORKING LENGTHS ON APICAL MICROCRACK DEVELOPMENT: MICRO-CT”

Effect of Reciprocating Systems and Working Lengths on Apical Microcrack Development: A micro-CT Study

Bruna Paloma de Oliveira¹, Andréa Cruz Câmara¹, Daniel Amancio Duarte², Richard John Heck³, Antonio Celso Dantas Antonino², Carlos Menezes Aguiar¹

¹Department of Prosthodontics and Oral and Maxillofacial Surgery, Dental School, UFPE - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brazil
²Department of Nuclear Energy, UFPE - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brazil
³Department of Land Resource Science, University of Guelph, Guelph, Canada

Correspondence: Bruna Paloma de Oliveira, Av. Prof. Moraes Rego s/n, Cidade Universitária, 50670-901 Recife, PE Brasil. Tel: +55-81-99285-3170. e-mail: bruna_paloma@msn.com

The objective of this study was to evaluate the effect of root canal preparation with single-file reciprocating systems at different working lengths on the development of apical microcracks using micro-computed tomographic (micro-CT) imaging. Forty extracted human mandibular incisors were randomly assigned to 4 groups (n=10) according to the systems and working length used to prepare the root canals: Group A - WaveOne Gold at apical foramen (AF), Group B - WaveOne Gold 1 mm short of the AF (AF-1 mm), Group C - Unicone (AF) and Group D - Unicone (AF-1 mm). Micro-CT scanning was performed before and after root canal preparation at an isotropic resolution of 14 µm. Then, three examiners assessed the cross-sectional images generated to detect microcracks in the apical portion of the roots. Apical microcracks were visualized in 3, 1, 1, and 3 specimens in groups A, B, C, and D, respectively. All these microcracks observed after root canal preparation already existed prior to instrumentation, and no new apical microcrack was detected. For all groups, the number of slices presenting microcracks after root canal preparation was the same as before canal preparation. Root canal preparation with WaveOne Gold and Unicone, regardless of the working length, was not associated with apical microcrack formation.

Key Words: dentinal crack, root canal preparation, micro-computed tomography, WaveOne Gold, Unicone.

Introduction

In 2008, a new root canal preparation technique with only one nickel-titanium instrument in a reciprocating motion was proposed by Yared (1). Since then a number of reciprocating instruments have been introduced. WaveOne Gold (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) and Unicone (Medin, Nové Město na Moravě, Czech Republic) are examples of recently launched reciprocating systems that operate under the concept of preparing root canals with only one instrument. Although the use of a single file simplifies instrumentation and provides a safe and effective means of root canal shaping (1,2), research data have been inconsistent about the biomechanical impact on root dentin generated by reciprocating instruments.

It has been speculated that the use of a single large-tapered file, rather than a sequence of instruments, for root canal preparation result in a higher level of stress concentrations in root canal walls and consequently in the formation of more dentinal defects (3). On the other hand, the continuous release of the file when it is engaged within the root canal, promoted by the reciprocating motion, has been suggested to reduce the stresses acting on the dentin, resulting in the production of significantly fewer cracks than continuous rotation instruments (4). Additionally, studies on the development of dentinal defects have speculated that variations in the working length may have a significant effect on incidence of

apical cracks (5).

However, most of these assertions have been based on root sectioning studies, which in order to investigate fracture lines after the biomechanical preparation of the root canals, have used a saw to section the roots, and the resulting slices were inspected through a stereomicroscope (6). This sectioning method has a substantial drawback that may induce false-positive results, given that dentinal cracks may occur because of the tooth sectioning procedure, (7). In addition, defects previously present in root dentin may not be detected before root canal instrumentation (8).

Micro-computed tomography (micro-CT) has allowed new perspectives for endodontic research (9), especially to the studies on the factors related to the induction of dentinal microcracks. This technology makes it possible to investigate the presence of dentinal defects with a detailed resolution before and after canal preparation without sectioning the specimens (10-14).

Up to now, no study has used nondestructive methodology to assess the impact of instrumentation with WaveOne Gold and Unicone at different working lengths on microcrack formation. Therefore, the aim of the present study was to evaluate the effect of root canal preparation with WaveOne Gold and Unicone when working short and at the apical foramen (AF) on the development of apical

microcracks using micro-CT scanning.

Material and Methods

Sample Selection and Preparation

After approval of the Ethical Committee of the Federal University of Pernambuco (no. 1.697.309), freshly extracted human mandibular incisors were obtained. The specimens were extracted for reasons unrelated to this study and stored in purified filtered water until use. Radiographs were taken from the mesiodistal and buccolingual planes. Then, the root surfaces were inspected under a stereomicroscope (Stemi 2000-C, Zeiss, São Paulo, SP, Brazil) with 12X magnification. Lower incisors free of external dentinal defects, endodontic treatment, root caries and internal/external resorption, as well as presenting mature apices and single straight root canals ($<5^\circ$) (15) were selected. Subsequently, the teeth were decoronated under water cooling with a low-speed saw (Isomet; Buehler Ltd, Lake Bluff, IL, USA) approximately 13 mm from the apex. Teeth not patent to the canal length with a size #10 K-file (Dentsply Maillefer) were discarded. Meeting these criteria, a total of 40 specimens were selected.

Samples were then imaged using a micro-CT scanner (XTH225ST, Nikon, Japan) with exposure parameters set at 14 μm isotropic resolution, 70 kV voltage and 114 μA current. X-rays were filtered with a 1-mm-thick aluminum filter. To reduce ring artifacts and minimize the beam hardening effect, an air calibration of the detector was carried out before the scans. Images of each specimen were reconstructed with CT Pro 3D v.XT3.1.3 software (Nikon Metrology NV). VGStudio MAX[®] v.2.2 software was subsequently used to smooth images with a Gaussian filtering application, and provide cross-sections of the internal structure of the roots.

Root Canal Preparation

The distance between the reference plane and AF of specimens was determined by inserting a size #10 K-file into the canal until its tip was just visible at the AF. The root surfaces were coated with a thin film of silicone-based impression material and embedded in autopolymerizing acrylic resin to simulate the periodontal ligament (16).

The teeth were numbered and randomly allocated into 4 experimental groups ($n=10$) according to the systems and working lengths used for the root canal preparation. The following reciprocating files were tested: WaveOne Gold and Unicone. The working lengths analyzed were: instrumentation finished at the AF (AF) and instrumentation finished 1 mm short of the AF (AF-1 mm). As follow: Group A: WaveOne Gold (AF); Group B: WaveOne Gold (AF-1 mm); Group C: Unicone (AF); Group D: Unicone (AF-1 mm).

The glide path was performed using a size #15 K-file

(Dentsply Maillefer) up to the working length. The WaveOne Gold Primary (25/0.07) and Unicone (25/0.06) instruments were used in a slow in-and-out pecking motion of approximately 3 mm in amplitude until the working length was reached. After 3 pecking motions, the flutes of the instruments were cleaned and the canals were irrigated. A total of 15 mL 1% sodium hypochlorite was used per canal. Final irrigation was performed using 5 mL distilled water.

Each instrument was used in 4 canals and operated with a low-torque motor (X-Smart Plus, Dentsply Maillefer) set at the WaveOne program. A single operator completed all preparations. Composite resin was used to fix the rubber stoppers and avoid their displacement during instrumentation.

After the root canal preparations, the specimens ($n=40$) were imaged again with micro-CT (post-instrumentation scan) using the same parameters applied in the pre-instrumentation scan.

Microcracks Evaluation

Three examiners blindly evaluated the micro-CT cross-sectional images obtained before and after instrumentations ($n=22,880$) to identify the presence of any dentinal microcrack along the 4 mm apical portion of the roots. The examiners were previously calibrated endodontic specialists. The calibration consisted of written and verbal instructions about micro-CT image interpretation with examples of micro-CT slices generated from cracked roots that were not included in the study sample. A microcrack was defined as any incomplete crack (line extending from the canal wall into the dentin without reaching the outer surface of the root), complete crack (line extending from the root canal wall to the outer surface), or craze line (other lines that did not reach any surface of the root or extend from the outer surface into the dentin but did not reach the canal wall) observed in the root dentin (3).

If a post-instrumentation image exhibited a microcrack line, the pre-instrumentation corresponding cross-section image also was inspected to check the pre-existence of a dentinal defect (10). The image assessments were repeated after an interval of 4 weeks. In case of discrepancy in the observations, the slices were examined at the same time by the three examiners until reaching an agreement.

Results

Overall, 8 (20%) specimens presented some dentinal defect. Apical microcracks were detected in 3 (30%), 1 (10%), 1 (10%) and 3 (30%) specimens in groups A (WaveOne Gold - AF), B (WaveOne Gold - AF-1mm), C (Unicone - AF), and D (Unicone - AF-1mm), respectively. All these microcracks detected after root canal preparation were already present before instrumentation (Fig. 1). Thereby,

independent of the system or working length tested, no new apical microcrack was generated.

Microcracks were detected in 1058 (4.62%) cross-section images, from a total of 22,880 slices obtained. Table 1 summarizes the distribution of slices presenting

Table 1. Distribution of slices (n = 22,880) presenting apical microcracks according to system and working length

System	Working length		Total (%)
	AF (%)	AF-1 mm (%)	
WaveOne Gold	262 (1.15)	362 (1.58)	624 (2.73)
Unicone	180 (0.79)	254 (1.11)	434 (1.90)
Total	442 (1.93)	616 (2.69)	1058 (4.62)

microcracks in each group. For all groups, the number of slices in which microcracks were identified after root canal preparation was the same as has been verified before canal preparation. Therefore, the pre-existing microcracks were not propagated longitudinally by the instrumentation procedures.

Discussion

Since the introduction of the reciprocating systems, several studies have described a contradictory and worrisome incidence of dentinal defects generated by these instruments. For instance, Liu et al. (16) and Topçuoğlu et al. (17) verified that 5% of the teeth prepared with Reciproc (VDW, Munich, Germany) and WaveOne (Dentsply Maillefer) presented dentinal cracks. In contrast, other studies (18,19) found that instrumentation with these same reciprocating

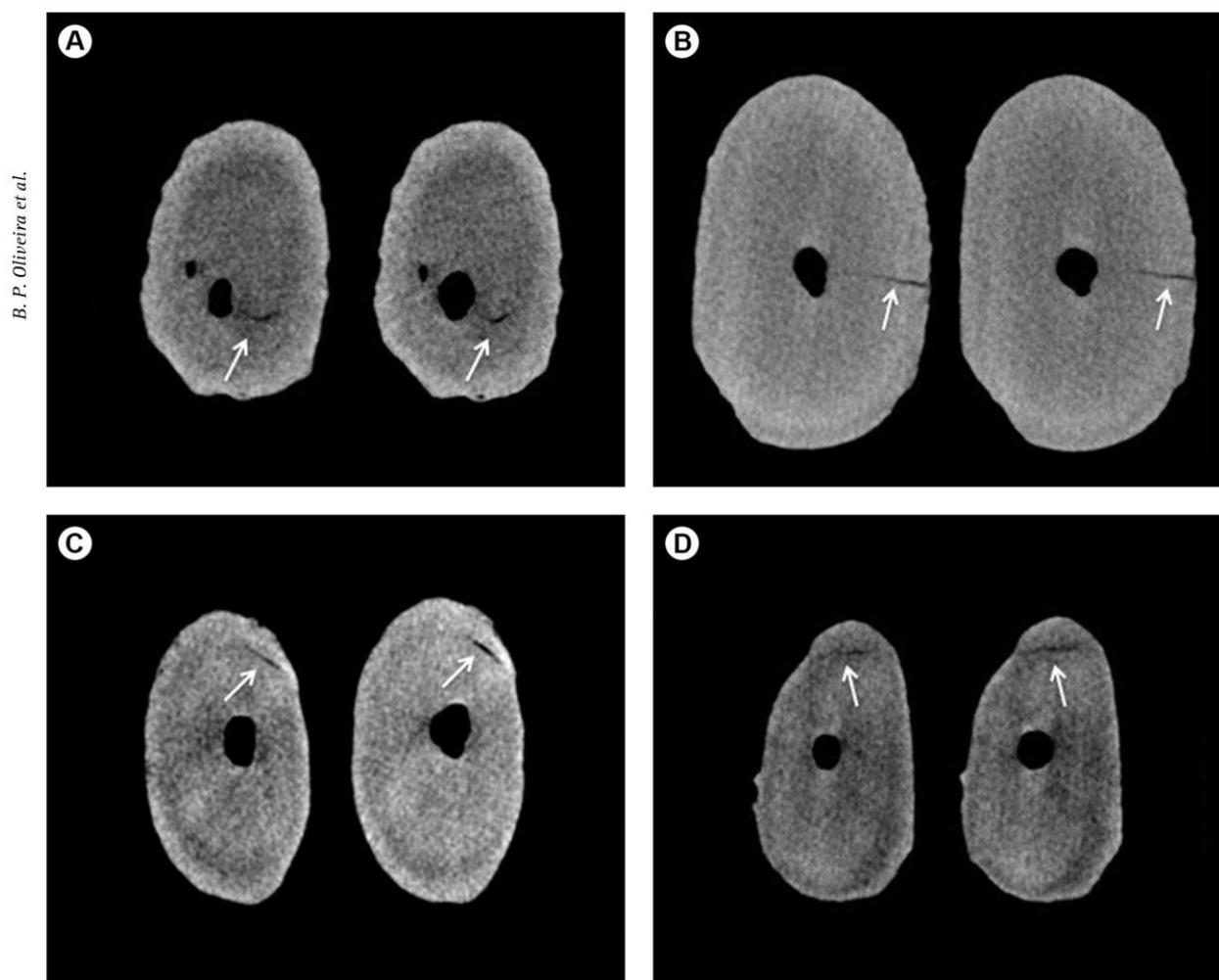


Figure 1. Representative micro-CT cross-sectional images obtained from 4 mandibular incisors, before and after root canal preparation with: (A) WaveOne Gold when instrumentation was terminated at apical foramen (AF); (B) WaveOne Gold when instrumentation was terminated 1 mm short of the apical foramen (AF-1 mm); (C) Unicone when instrumentation was terminated at AF; (D) Unicone when instrumentation was terminated at AF-1 mm. Crack lines are indicated by the arrows.

instruments produced dentinal defects in 46.6% of the specimens at the apical level.

Most of these studies have used the root sectioning method by which, after root canal preparation, the specimens are sectioned at various levels from the apex, and the resulting slices are observed through a stereomicroscope. This methodology seemed to be a safe way for cutting the roots because its negative control groups, composed of uninstrumented teeth, were devoid of cracks after the sectioning procedures (6). However, a recent study (7) showed that slices of unprepared roots had defects that could not be visualized without LED transillumination, putting into question the reliability of the aforementioned method.

The need of employ a more reproducible method to assess dentinal microcracks led the authors to use micro-CT scanning in the present investigation. This highly accurate technology provides high-resolution images in all three dimensions without sectioning the samples, allowing the assessment of dentinal defects before and after root canal shaping on the same tooth (10). Under this micro-CT methodology, the current study revealed that no microcrack was attributed to the instrumentation with the tested reciprocating systems. This result are in agreement with De-Deus et al. (10) and Lim et al. (13) who also showed a lack of relationship between microcrack formation and biomechanical preparation with reciprocating instruments by using micro-CT analysis.

Factors such as trauma suffered by the tooth donor, extraction forces, and storage procedures have been suggested as responsible for dentinal cracks or craze lines present in some extracted teeth (20). Therefore, pre-existing dentinal defects should be expected in samples of crack studies. As performed in the root sectioning studies, the specimens preselected for the present study were evaluated through a stereomicroscope to discard those exhibiting external defects. Nevertheless, the pre-instrumentation images revealed the presence of apical microcracks in 20% of the samples used here. This finding agrees with earlier micro-CT studies (10-12,14), which also verified a total amount of dentinal microcracks ranging from 16.7%-34.6% in uninstrumented roots. Thus, merely an evaluation of the root surfaces under magnification is not sufficient to detect all of the pre-existing dentinal defects, which in addition to those produced by the sectioning procedure might induce false-positive results when a destructive methodology is employed.

A dentinal microcrack may gradually propagate to a vertical root fracture leading to tooth extraction (21). In the present study, in which the longitudinal length of the microcracks were analyzed before and after root canal preparation through micro-CT analysis, instrumentation

procedures were not related to the longitudinal propagation of the pre-existing microcracks. This result presents a relevance because teeth presenting dentinal defects before canal preparation are not an uncommon event due to circumstances such as trauma, masticatory function and parafunctions occurred during the patient's life (22).

It has been stated that instrumentation to AF increases the risk of apical dentinal defects (5). The results of our study demonstrated that variations in the working length did not influence microcrack development, even when the instrumentation was terminated at AF. This is an important finding for clinicians considering that preparation to a level as close to the AF as possible has been suggested as a way to optimizing root canal disinfection, especially in cases of periradicular lesions, where the most apical portion of the canal may harbor a niche for microbial colonization (23).

A crucial point regarding the studies on the incidence of dentinal microcracks is the subjectivity in the image analysis, which can influence the results. In the present study some cares were taken in order to guarantee an unbiased evaluation and diminish limitations of a subjective analysis. The micro-CT cross-sectional images were analyzed by three pre-calibrated experienced endodontic specialists, blind to the experimental groups. It is important to point out that the operator who completed the experimental procedures did not take part in the microcrack evaluations. And to avoid that the examiners were aware of the presence of a microcrack in the pre-instrumentation image, post-instrumentation images were analyzed first.

Although in the present investigation the biomechanical preparation with reciprocating systems not have been related to the development of microcracks; it is important to point out that, besides removal of dentin, several other factors such as curvature of the root (12,24), canal size and shape (24), presence of natural periodontal ligament (20), and the age of the tooth (25) might interact together in influencing fracture susceptibility. Therefore, further micro-CT studies are necessary to provide a better understanding of factors related to dentinal microcracks, and consequently allow a better prevention and management of this worrisome entity.

Under the conditions tested and within the limitations of this in vitro study, it could be concluded that the instrumentation of root canals with WaveOne Gold and Unicone systems, regardless of the working length, was not associated with apical microcracks formation.

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da instrumentação de canais radiculares utilizando sistemas reciprocantes de lima única em diferentes comprimentos de trabalho sobre o desenvolvimento de microfissuras apicais utilizando imagens de microtomografia computadorizada (micro-CT). Quarenta incisivos inferiores humanos extraídos foram distribuídos

aleatoriamente em 4 grupos (n=10) de acordo com os sistemas e comprimentos de trabalho utilizados para preparar os canais radiculares: Grupo A - WaveOne Gold no forame apical (FA), Grupo B - WaveOne Gold 1 mm aquém do FA (FA-1 mm), Grupo C - Unicone (FA) e grupo D - Unicone (FA-1 mm). Escaneamentos de micro-CT foram realizados antes e após o preparo dos canais a uma resolução isotrópica de 14 µm. Em seguida, três examinadores avaliaram as imagens de secção transversal geradas para detectar microfissuras na porção apical das raízes. Microfissuras apicais foram visualizadas em 3, 1, 1 e 3 espécimes nos grupos A, B, C e D, respectivamente. Todas essas microfissuras observadas após o preparo dos canais radiculares já existiam antes da instrumentação e não foi detectada nenhuma nova microfissura apical. Para todos os grupos, o número de cortes apresentando microfissuras após o preparo dos canais radiculares foi o mesmo verificado antes do preparo dos canais. A instrumentação de canais radiculares utilizando WaveOne Gold e Unicone, independentemente do comprimento de trabalho, não foi associada à formação de microfissuras apicais.

Acknowledgements

This study was supported by the Brazilian agency CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). We acknowledge the X-ray Computed Tomography Laboratory (LTC_RX) of Nuclear Energy Department of Federal University of Pernambuco for the micro-CT scans.

References

1. Yared G. Canal preparation using only one NiTi rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J* 2008;41:339-344.
2. Saleh AM, Vakili Gilani P, Tavanafar S, Schäfer E. Shaping ability of 4 different single-file systems in simulated S-shaped canals. *J Endod* 2015;41:548-552.
3. Bürklein S, Tsohis P, Schäfer E. Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation. *J Endod* 2013;39:501-504.
4. Kansal R, Rajput A, Talwar S, Roongta R, Verma M. Assessment of dentinal damage during canal preparation using reciprocating and rotary files. *J Endod* 2014;40:1443-1446.
5. Liu R, Kaiwar A, Shemesh H, Wesselink PR, Hou B, Wu MK. Incidence of apical root cracks and apical dentinal detachments after canal preparation with hand and rotary files at different instrumentation lengths. *J Endod* 2013;39:129-132.
6. Bier CA, Shemesh H, Tanomaru-Filho M, Wesselink PR, Wu MK. The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation. *J Endod* 2009;35:236-238.
7. Coelho MS, Card SJ, Tawil PZ. Visualization enhancement of dentinal defects by using light-emitting diode transillumination. *J Endod* 2016;42:1110-1113.
8. Coelho MS, Card SJ, Tawil PZ. Light-emitting diode assessment of dentinal defects after root canal preparation with Profile, TRUShape, and WaveOne Gold systems. *J Endod* 2016;42:1393-1296.
9. Araújo VL, Souza-Gabriel AE, Cruz Filho AM, Pécora JD, Silva RG. Volume of sealer in the apical region of teeth filled by different techniques: a micro-CT analysis. *Braz Oral Res* 2016;30.
10. De-Deus G, Silva EJ, Marins J, Souza E, Neves Ade A, Gonçalves Belladonna F, et al. Lack of causal relationship between dentinal microcracks and root canal preparation with reciprocation systems. *J Endod* 2014;40:1447-1450.
11. De-Deus G, Belladonna FG, Souza EM, Silva EJ, Neves Ade A, Alves H, et al. Micro-computed tomographic assessment on the effect of ProTaper Next and Twisted File Adaptive systems on dentinal cracks. *J Endod* 2015;41:1116-1119.
12. Ceyhanli KT, Erdilek N, Tatar I, Celik D. Comparison of ProTaper, RaCe and Safesider instruments in the induction of dentinal microcracks: a micro-CT study. *Int Endod J* 2016;49:684-689.
13. Lim H, Li FC, Friedman S, Kishen A. residual microstrain in root dentin after canal instrumentation measured with digital moiré interferometry. *J Endod* 2016;42:1397-1402.
14. De-Deus G, Belladonna FG, Marins JR, Silva EJ, Neves AA, Souza EM, et al. On the causality between dentinal defects and root canal preparation: a micro-CT assessment. *Braz Dent J* 2016;27:664-669.
15. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971;32:271-275.
16. Liu R, Hou BX, Wesselink PR, Wu MK, Shemesh H. The incidence of root microcracks caused by 3 different single-file systems versus the ProTaper system. *J Endod* 2013;39:1054-1056.
17. Topçuoğlu HS, Düzgün S, Akpek F, Topçuoğlu G. Effect of glide path and apical preparation size on the incidence of apical crack during the canal preparation using Reciproc, WaveOne, and ProTaper Next systems in curved root canals: A stereomicroscope study. *Scanning* 2016;38:585-590.
18. Helvacioğlu-Yigit D, Aydemir S, Yilmaz A. Evaluation of dentinal defect formation after root canal preparation with two reciprocating systems and hand instruments: an in vitro study. *Biotechnol Biotechnol Equip* 2015;29:368-373.
19. Ashwinkumar V, Krithikadatta J, Surendran S, Velmurugan N. Effect of reciprocating file motion on microcrack formation in root canals: an SEM study. *Int Endod J* 2014;47:622-627.
20. Arias A, Lee YH, Peters CI, Gluskin AH, Peters OA. Comparison of 2 canal preparation techniques in the induction of microcracks: a pilot study with cadaver mandibles. *J Endod* 2014;40:982-985.
21. Wilcox LR, Roskelley C, Sutton T. The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture. *J Endod* 1997;23:533-534.
22. Ratcliff S, Becker IM, Quinn L. Type and incidence of cracks in posterior teeth. *J Prosthet Dent* 2001;86:168-172.
23. Wu MK, Wesselink PR, Walton RE. Apical terminus location of root canal treatment procedures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000;89:99-103.
24. Sathorn C, Palamara JE, Palamara D, Messer HH. Effect of root canal size and external root surface morphology on fracture susceptibility and pattern: a finite element analysis. *J Endod* 2005;31:288-292.
25. Koester KJ, Ager JW 3rd, Ritchie RO. The effect of aging on crack-growth resistance and toughening mechanisms in human dentin. *Biomaterials* 2008;29:1318-1328.

Received February 7, 2017
Accepted August 29, 2017

ANEXO A – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO PARA O ARTIGO 1



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: INVESTIGAÇÃO DA CONFIABILIDADE DA TOMOGRAFIA DE COERÊNCIA ÓPTICA COMO MÉTODO DE DIAGNÓSTICO DE FISSURAS RADICULARES APICAIS

Pesquisador: Bruna Paloma de Oliveira

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 54963116.7.0000.5208

Instituição Proponente: CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.575.380

Apresentação do Projeto:

O preparo biomecânico do canal radicular é considerado uma das etapas mais importantes do tratamento endodôntico, e determina a eficácia de todos os procedimentos subsequentes. Os procedimentos de modelagem do canal envolvem a remoção da dentina radicular e podem inevitavelmente comprometer a resistência das raízes, resultando em fissuras na região apical. Tais fissuras possuem o potencial de se transformar em fraturas radiculares verticais, levando dessa forma ao insucesso do tratamento endodôntico e à perda do elemento dentário. Entretanto, dentes fissurados se apresentam como um desafio para o clínico, uma vez que o diagnóstico é muitas vezes complicado devido à dificuldade em se localizar as linhas de fissura do elemento dentário. A tomografia de coerência óptica (OCT) tem sido pesquisada para a geração de imagens de tecidos dentários duros e moles. A OCT torna-se uma promessa para fornecer aos clínicos um nível sem precedentes de resolução de imagem para auxiliar na avaliação in vivo da anatomia intracanal, da limpeza do canal após a instrumentação, e de perfurações. Alguns estudos têm sugerindo a possibilidade de aplicação da OCT na prática clínica para o diagnóstico de fissuras dentinárias.



Continuação do Parecer: 1.575.380

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Avaliar a confiabilidade de dois sistemas de tomografia de coerência óptica (OCT) que operam no domínio Fourier em diferentes comprimentos de onda, 930 e 1325 nm, para a detecção de fissuras radiculares apicais.

Objetivo Secundário:

- Determinar a sensibilidade, especificidade, valor preditivo positivo, valor preditivo negativo, e a acurácia do sistema spectral-domain OCT (930 nmSD-OCT) em detectar fissuras radiculares apicais.
- Determinar a sensibilidade, especificidade, valor preditivo positivo, valor preditivo negativo, e a acurácia do sistema swept-source OCT (1325-SS-OCT) em detectar fissuras radiculares apicais.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos:

Esta pesquisa não envolve riscos diretos para a população em geral, haja vista que é um estudo in vitro onde não haverá o envolvimento direto de pacientes e só serão utilizados dentes humanos obtidos do Banco de Dentes da Universidade Federal de Pernambuco. Como possível risco, poderemos considerar o extravio do material biológico utilizado, pois os elementos dentários serão obtidos do Banco de Dentes do Departamento de Odontologia da Universidade Federal de Pernambuco, entretanto a pesquisadora se compromete a utilizá-los com cuidado. Não há riscos para o pesquisador, visto que os elementos dentários obtidos do Banco de Dentes são submetidos a um processamento de desinfecção e esterilização, e todos os procedimentos da pesquisa serão realizados seguindo-se as normas de Biossegurança e com a utilização de Equipamento de Proteção Individual (EPI).

Benefícios:

1. Aprofundar e divulgar os conhecimentos sobre a utilização da tomografia de coerência óptica e da microtomografia computadorizada na Endodontia, favorecendo as suas aplicabilidades clínicas.
2. Iniciar e consolidar uma nova linha de pesquisa para o Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal de Pernambuco, sobre a utilização da tomografia de coerência óptica e da microtomografia computadorizada na Endodontia.
3. Promover o enriquecimento do Ensino e da Pesquisa.

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 50.740-600
UF: PE **Município:** RECIFE
Telefone: (81)2126-8588 **E-mail:** cepccs@ufpe.br

Comitê de Ética
em Pesquisa
Envolvendo
Serres Humanos



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
PERNAMBUCO CENTRO DE
CIÊNCIAS DA SAÚDE / UFPE-



Continuação do Parecer: 1.575.380

Neste protocolo os Riscos estão corretamente declarados e minimizados. Os Benefícios Indiretos, estão de acordo com propostas do mesmo.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se de um estudo experimental laboratorial cuja finalidade é a elaboração de tese de doutorado para o Programa de Pós-graduação em Odontologia da UFPE da Cirurgiã-Dentista BRUNA PALOMA DE OLIVEIRA. A pesquisa será realizada no Laboratório de Pesquisa Integral da Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal de Pernambuco e no Centro de Ensino e Pesquisa de LASER em Odontologia (CEPLSerão empregados O) da Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal de Pernambuco. Serão empregados 20 incisivos inferiores recém extraídos que apresentem comprimentos semelhantes, rizogênese completa e curvatura do canal radicular menor do que 10, cedidos pelo Banco de Dentes Humanos da UFPE. Como Critérios de Exclusão determina que tratamento de canal prévio, canal radicular calcificado, defeitos ou fissuras externas preexistentes, hipercementose, reabsorção interna/externa, e cárie radicular excluirão os elementos dentários. As porções coronais de todos os espécimes serão removidas Os canais radiculares serão então instrumentados. Não haverá grupo controle. Todos os espécimes serão submetidos ao exame tomográfico para que possa ser detectado a presença de fissuras dentinárias. A área de avaliação definida para este estudo será o terço apical radicular.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Protocolo bem redigido e fundamentado. Apresenta Folha de Rosto corretamente preenchida e assinada pelo Chefe do Deptº de Prótese e Cirurgia Buco Facial. Há uma Carta de Anuência autorizando a Pesquisadora a realizar a pesquisa. A Carta da Coordenadora do Banco de Dentes Humanos cedendo os elementos dentários à Pesquisadora está anexada. Também está anexado o Termo de Confiabilidade da Pesquisadora, bem como os currículos da equipe de pesquisa. O Cronograma e o Orçamento estão adequados às propostas e metodologia do protocolo.

Recomendações:

Não há.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Não há.

Considerações Finais a critério do CEP:

O Protocolo foi avaliado na reunião do CEP e está APROVADO para iniciar a coleta de dados. Informamos que a APROVAÇÃO DEFINITIVA do projeto só será dada após o envio da Notificação

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS

Bairro: Cidade Universitária

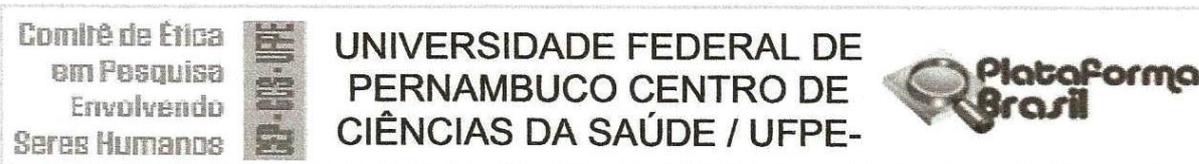
CEP: 50.740-600

UF: PE

Município: RECIFE

Telefone: (81)2126-8588

E-mail: cepccs@ufpe.br



Continuação do Parecer: 1.575.380

com o Relatório Final da pesquisa. O pesquisador deverá fazer o download do modelo de Relatório Final para enviá-lo via “Notificação”, pela Plataforma Brasil. Siga as instruções do link “Para enviar Relatório Final”, disponível no site do CEP/UFPE. Após apreciação desse relatório, o CEP emitirá novo Parecer Consubstanciado definitivo pelo sistema Plataforma Brasil.

Informamos, ainda, que o (a) pesquisador (a) deve desenvolver a pesquisa conforme delineada neste protocolo aprovado, exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao voluntário participante (item V.3., da Resolução CNS/MS Nº 466/12).

Eventuais modificações nesta pesquisa devem ser solicitadas através de EMENDA ao projeto, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas.

Para projetos com mais de um ano de execução, é obrigatório que o pesquisador responsável pelo Protocolo de Pesquisa apresente a este Comitê de Ética, relatórios parciais das atividades desenvolvidas no período de 12 meses a contar da data de sua aprovação (item X.1.3.b., da Resolução CNS/MS Nº 466/12). O CEP/UFPE deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo (item V.5., da Resolução CNS/MS Nº 466/12). É papel do/a pesquisador/a assegurar todas as medidas imediatas e adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e ainda, enviar notificação à ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária, junto com seu posicionamento.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_682363.pdf	08/04/2016 08:27:42		Aceito
Outros	BRUNA_PALOMA.jpg	08/04/2016 08:27:25	Bruna Paloma de Oliveira	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Doutorado.doc	04/04/2016 17:10:54	Bruna Paloma de Oliveira	Aceito
Outros	Termo_Banco_de_Dentes.jpg	04/04/2016 17:06:09	Bruna Paloma de Oliveira	Aceito
Outros	Carta_Anuencia.jpg	04/04/2016 17:05:17	Bruna Paloma de Oliveira	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto.docx	04/04/2016 17:04:11	Bruna Paloma de Oliveira	Aceito
Outros	CurriculoCarlosMenezesAguiar.docx	17/03/2016	Bruna Paloma de	Aceito

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS

Bairro: Cidade Universitária

CEP: 50.740-600

UF: PE

Município: RECIFE

Telefone: (81)2126-8588

E-mail: cepccs@ufpe.br

Comitê de Ética
em Pesquisa
Envolvendo
Serres Humanos



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
PERNAMBUCO CENTRO DE
CIÊNCIAS DA SAÚDE / UFPE-



Continuação do Parecer: 1.575.380

Outros	CurriculoCarlosMenezesAguiar.docx	21:38:23	Oliveira	Aceito
Outros	CurriculoAndreaCruzCamara.docx	17/03/2016 21:37:27	Bruna Paloma de Oliveira	Aceito
Outros	CurriculoBrunaPalomadeOliveira.docx	17/03/2016 21:36:57	Bruna Paloma de Oliveira	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

RECIFE, 06 de Junho de 2016

Assinado por:
LUCIANO TAVARES MONTENEGRO
(Coordenador)

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 50.740-600
UF: PE **Município:** RECIFE
Telefone: (81)2126-8588

E-mail: cepccs@ufpe.br

ANEXO B – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO PARA OS ARTIGOS 2 E 3



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: EFEITO DA TÉCNICA DE INSTRUMENTAÇÃO E DO COMPRIMENTO DE TRABALHO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE FISSURAS RADICULARES

Pesquisador: Bruna Paloma de Oliveira

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 57109516.0.0000.5208

Instituição Proponente: CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

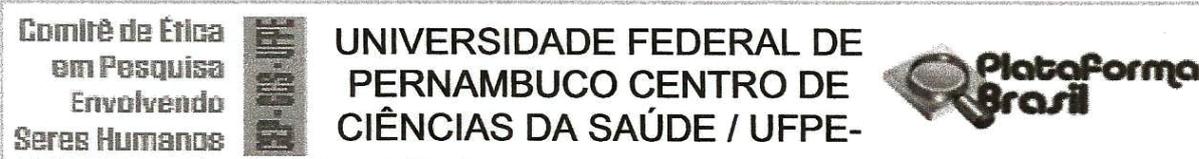
Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.697.309

Apresentação do Projeto:

Os procedimentos de limpeza e modelagem do canal radicular envolvem a remoção de dentina e podem inevitavelmente comprometer a resistência das raízes, resultando em fissuras na região apical. Tais fissuras possuem o potencial de se transformar em fraturas radiculares verticais, levando ao insucesso do tratamento endodôntico e à perda do elemento dentário. A formação de fissuras dentinárias durante o preparo do canal radicular pode ser influenciada por diferentes fatores, como variações da técnica de instrumentação, da cinemática do movimento e do comprimento de trabalho. Ainda é desconhecido se até mesmo os menores defeitos dentinários podem levar ao desencadeamento de fraturas radiculares, conseqüentemente, atualmente existe o consenso de que esses defeitos devem ser prevenidos. Dessa forma, um objetivo crucial para a pesquisa endodôntica é superar o potencial problema do desenvolvimento



Continuação do Parecer: 1.697.309

de microfissuras dentinárias durante o preparo biomecânico. No entanto, até o presente momento poucos estudos utilizaram técnicas de imagem de alta resolução para comparar a incidência de fissuras dentinárias na região apical após o preparo do canal radicular em diferentes comprimentos de trabalho utilizando sistemas rotatórios, reciprocantes, e limas manuais de níquel-titânio (NiTi).

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário: Analisar comparativamente in vitro os efeitos de diferentes comprimentos de trabalho e técnicas de preparo do canal radicular sobre o desenvolvimento de fissuras apicais por meio de imagens microtomografia computadorizada.

Objetivo Secundário:

1. Determinar a incidência de fissuras dentinárias na região apical após a instrumentação de canais radiculares utilizando os sistemas: 1 ProTaper Universal Manual™; 2 Hyflex® CM™; 3 Hyflex™ EDM; 4 Reciproc™; 5 WaveOne™ Gold;
2. Avaliar o efeito de diferentes comprimentos de sobre o desenvolvimento de fissuras apicais após o preparo biomecânico dos canais radiculares: 1 CC-1 mm: instrumentação concluída 1 mm aquém do comprimento do canal; 2 CC: instrumentação concluída no comprimento do canal.

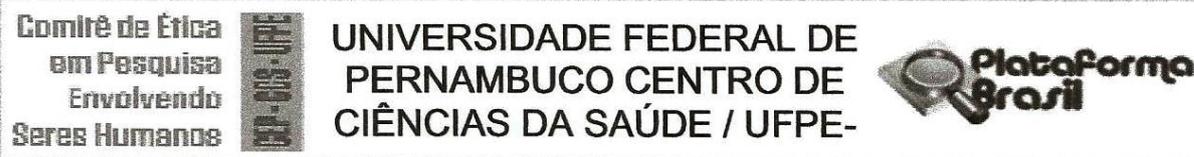
Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos:

Esta pesquisa não envolve riscos diretos para a população em geral, haja vista que é um estudo in vitro onde não haverá o envolvimento direto de pacientes e só serão utilizados dentes humanos obtidos do banco de Dentes da Universidade Federal de Pernambuco.

Como possível risco poderemos considerar o extravio do material biológico utilizado, pois os

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 50.740-600
UF: PE **Município:** RECIFE
Telefone: (81)2126-8588 **E-mail:** cepccs@ufpe.br



Continuação do Parecer: 1.697.309

elementos

dentários serão obtidos do Banco de Dentes do Departamento de Odontologia da Universidade Federal de Pernambuco, entretanto a pesquisadora se compromete a utilizá-los com cuidado. Não há riscos para o pesquisador, visto que os elementos dentários obtidos do Banco de Dentes são submetidos a um processamento de desinfecção e esterilização, e todos os procedimentos da pesquisa serão realizados seguindo-se as normas de Biossegurança e com a utilização de Equipamento de Proteção Individual (EPI).

Benefícios:

Como benefícios, a pesquisa será importante para:

1. Instituir um protocolo de aplicabilidade, efetivo, simples, e seguro, para ser utilizados na fase do preparo biomecânico dos canais radiculares por alunos de Graduação, alunos de Pós-Graduação e Profissionais do setor público e privado; contribuindo desta forma, para o êxito do Tratamento Endodôntico e a excelência da Endodontia Brasileira.
2. Aprofundar e divulgar os conhecimentos sobre a utilização da microtomografia computadorizada na Endodontia, favorecendo as suas aplicabilidades clínicas.
3. Iniciar e consolidar uma nova linha de pesquisa para o Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal de Pernambuco, sobre a utilização da microtomografia computadorizada na Endodontia.
4. Promover o enriquecimento do Ensino e da Pesquisa.

Os Riscos estão adequadamente previstos e minimizados. Os Benefícios são relevantes e estão de acordo com os Objetivos e Metodologia.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se de um estudo experimental laboratorial cuja finalidade é elaboração de tese de doutorado para o

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 50.740-600
UF: PE **Município:** RECIFE
Telefone: (81)2126-8588 **E-mail:** cepccs@ufpe.br

Comitê de Ética
em Pesquisa
Envolvendo
Serres Humanos



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
PERNAMBUCO CENTRO DE
CIÊNCIAS DA SAÚDE / UFPE-



Continuação do Parecer: 1.697.309

programa de Pós-Graduação em Odontologia, área de concentração: CLÍNICA INTEGRADA da Cirurgiã-Dentista BRUNA PALOMA DE OLIVEIRA - PESQUISADORA PRINCIPAL, sob a Orientação do Prof. Dr. CARLOS MENEZES AGUIAR do Deptº de Prótese e Cirurgia Buco Facial – UFPE. O estudo será realizado no Laboratório de Pesquisa Integral e no Centro de Ensino e Pesquisa de LASER em Odontologia (CEPLO) da Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal de Pernambuco os quais possuem a infraestrutura necessária para a execução da pesquisa. Serão empregados 100 Incisivos inferiores unirradiculares que preencherem os Critérios de Inclusão e Exclusão. Para garantir a padronização, as porções coronais de todos os espécimes serão removidas deixando as raízes com aproximadamente 13 mm de comprimento. Cada raiz será envolvida com uma única camada de folha de alumínio e inserida num tubo de resina acrílica. A folha de alumínio será retirada da raiz e um material de impressão à base de vinil polisiloxano hidrofílico que será utilizado para preencher o espaço criado pela folha e representar um ligamento periodontal simulado. Os 100 espécimes serão divididos em dez grupos experimentais, com 10 espécimes cada e instrumentados utilizando limas manuais, rotatórias e reciprocantes, denominadas: ProTaper Universal Manual™ (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça); Hyflex® CM™ (Coltene-Whaledent, Allstetten, Suíça); Hyflex™ EDM (Coltene-Whaledent, Allstetten, Suíça); Reciproc™ (VDW, Munique, Alemanha); WaveOne™ Gold (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça). Todos os canais radiculares serão preparados por apenas um operador. Após as instrumentações, os espécimes serão submetidos à microtomografia computadorizada. No total, 80.000 cortes serão avaliados às cegas por dois examinadores nos 4 milímetros apicais finais. Após o término do experimento, os elementos dentários serão devolvidos ao Banco de Dentes do Departamento de Prótese e Cirurgia Buco-Facial da Universidade

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS

Bairro: Cidade Universitária

CEP: 50.740-600

UF: PE

Município: RECIFE

Telefone: (81)2126-8588

E-mail: cepccs@ufpe.br

Comitê de Ética
em Pesquisa
Envolvendo
Serres Humanos



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
PERNAMBUCO CENTRO DE
CIÊNCIAS DA SAÚDE / UFPE-



Continuação do Parecer: 1.697.309

Federal de Pernambuco. Os resultados serão expressos por meio de porcentagem e número de raízes com presença de microfissuras para cada grupo. Será utilizado o teste de McNemar para comparar diferenças significativas entre a pré e pós-instrumentação. Uma análise de regressão logística será realizada para verificar a influência do sistema de instrumentação utilizado e do comprimento de trabalho sobre a formação de microfissuras apicais na pós instrumentação.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Adequados.

Recomendações:

Nenhuma.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Nenhuma.

Considerações Finais a critério do CEP:

As exigências foram atendidas e o protocolo está APROVADO, sendo liberado para o início da coleta de dados. Informamos que a APROVAÇÃO DEFINITIVA do projeto só será dada após o envio do Relatório Final da pesquisa. O pesquisador deverá fazer o download do modelo de Relatório Final para enviá-lo via "Notificação", pela Plataforma Brasil. Siga as instruções do link "Para enviar Relatório Final", disponível no site do CEP/CCS/UFPE. Após apreciação desse relatório, o CEP emitirá novo Parecer Consubstanciado definitivo pelo sistema Plataforma Brasil.

Informamos, ainda, que o (a) pesquisador (a) deve desenvolver a pesquisa conforme delineada neste protocolo aprovado, exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao voluntário participante (item V.3., da Resolução CNS/MS Nº 466/12).

Eventuais modificações nesta pesquisa devem ser solicitadas através de EMENDA ao projeto, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas.

Para projetos com mais de um ano de execução, é obrigatório que o pesquisador responsável pelo Protocolo de Pesquisa apresente a este Comitê de Ética relatórios parciais das atividades desenvolvidas no período de 12 meses a contar da data de sua aprovação (item X.1.3.b., da Resolução CNS/MS Nº 466/12). O CEP/CCS/UFPE deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS

Bairro: Cidade Universitária

CEP: 50.740-600

UF: PE

Município: RECIFE

Telefone: (81)2126-8588

E-mail: cepccs@ufpe.br



Continuação do Parecer: 1.697.309

o curso normal do estudo (item V.5., da Resolução CNS/MS Nº 466/12). É papel do/a pesquisador/a assegurar todas as medidas imediatas e adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e ainda, enviar notificação à ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária, junto com seu posicionamento.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_736158.pdf	25/08/2016 14:20:33		Aceito
Outros	Carta_de_Anuencia_Corrigida.jpg	25/08/2016 14:19:52	Bruna Paloma de Oliveira	Aceito
Outros	CARTA_DE_RESPOSTA_AS_PENDENCIAS.docx	25/08/2016 14:19:03	Bruna Paloma de Oliveira	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Corrigido.doc	25/08/2016 14:17:51	Bruna Paloma de Oliveira	Aceito
Outros	Termo_de_Compromisso_e_Confidencialidade.jpg	16/06/2016 09:36:12	Bruna Paloma de Oliveira	Aceito
Outros	Termo_Banco_de_Dentes.jpg	16/06/2016 09:35:49	Bruna Paloma de Oliveira	Aceito
Outros	CurriculoCarlosMenezesAguiar.docx	16/06/2016 09:33:58	Bruna Paloma de Oliveira	Aceito
Outros	CurriculoAndreaCruzCamara.docx	16/06/2016 09:33:34	Bruna Paloma de Oliveira	Aceito
Outros	CurriculoBrunaPalomadeOliveira.docx	16/06/2016 09:33:04	Bruna Paloma de Oliveira	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto.docx	16/06/2016 09:31:53	Bruna Paloma de Oliveira	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS
 Bairro: Cidade Universitária CEP: 50.740-600
 UF: PE Município: RECIFE
 Telefone: (81)2126-8588 E-mail: cepccs@ufpe.br

Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Serres Humanos		UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE / UFPE-	
--	---	---	---

Continuação do Parecer: 1.697.309

RECIFE, 26 de Agosto de 2016

Assinado por:
Gisele Cristina Sena da Silva Pinho
(Coordenador)

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS	
Bairro: Cidade Universitária	CEP: 50.740-600
UF: PE	Município: RECIFE
Telefone: (81)2126-8588	E-mail: cepccs@ufpe.br