

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL

FACULDADE DE ODONTOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

NÍVEL: DOUTORADO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENDODONTIA

**EFICIÊNCIA DE CORTE DE INSTRUMENTOS
ROTATÓRIOS DE NÍQUEL-TITÂNIO PARA
ALARGAMENTO CERVICAL DE CANAIS RADICULARES:
ANÁLISE EM ESTEREOMICROSCOPIA, PERFILOMETRIA
E MICROTOMOGRÁFIA COMPUTADORIZADA**

RENATA DORNELLES MORGENTAL

PORTO ALEGRE

2012

Renata Dornelles Morgental

**EFICIÊNCIA DE CORTE DE INSTRUMENTOS ROTATÓRIOS DE NÍQUEL-
TITÂNIO PARA ALARGAMENTO CERVICAL DE CANAIS RADICULARES:
ANÁLISE EM ESTEREOMICROSCOPIA, PERFILOMETRIA E
MICROTOMOGRÁFIA COMPUTADORIZADA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul como requisito para obtenção do título de Doutor em Odontologia, na área de concentração de Endodontia.

Orientadora: Profa. Dra. Fabiana Vieira Vier Pelisser

Co-orientadora: Profa. Dra. Patrícia Maria Poli Kopper Móra

PORTO ALEGRE

2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S415p Morgental, Renata Dornelles

Eficiência de corte de instrumentos rotatórios de níquel-titânio para alargamento cervical de canais radiculares: análise em estereomicroscopia, perfilometria e microtomografia computadorizada / Renata Dornelles Morgental. – Porto Alegre, 2012.

86 f.: il.

Tese (Doutorado em Odontologia) – Faculdade de Odontologia, PUCRS.

Área de concentração: Endodontia

Orientador: Prof^a Dr^a Fabiana Vieira Vier Pelisser

Co-orientador: Prof^a Dr^a Patrícia Maria Poli Kopper Móra

1. Odontologia. 2. Endodontia. 3. Instrumentos Odontológicos. 4. Preparo de Canal Radicular. I. Morgental, Renata Dornelles. II. Pelisser, Fabiana Vieira Vier. III. Móra, Patrícia Maria Poli Kopper. Título.

CDD 617.634

Bibliotecária Responsável: Elisete Sales de Souza, CRB 10/1441

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por me acompanhar nessa trajetória.

À minha família, pelo apoio e amor incondicional. Vocês representam meu porto seguro e sempre me incentivaram a seguir em frente na busca por meus sonhos.

Ao meu namorado, Rafael, pelo amor e compreensão. Obrigada por me fazer sorrir mesmo nos momentos difíceis e apesar da distância.

Às minhas orientadoras, Profa. Dra. Fabiana Vieira Vier Pelisser e Patrícia Maria Poli Kopper Móra, pela disponibilidade e aprendizado proporcionado. Agradeço especialmente pela amizade e excelente convívio durante essa jornada.

Ao Prof. Dr. José Antônio Poli de Figueiredo, por tornar possível minha experiência nos Estados Unidos. Obrigada por suas palavras de motivação e pelo exemplo de dedicação à Endodontia.

Ao meu tutor estrangeiro durante o período de Doutorado Sanduíche, Prof. Dr. Ove Andreas Peters, pela paciência, disponibilidade e atenção. Foi extremamente enriquecedor trabalhar sob sua supervisão. Ficam os sentimentos de imensa gratidão e admiração.

À Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), por proporcionar um ensino de alta qualidade. Estendo tais agradecimentos a todos os funcionários que me auxiliaram durante o curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão de bolsa de estudos, em especial referente ao Programa de

Doutorado Sanduíche (PDEE), uma experiência de grande importância para meu crescimento profissional.

À *University of the Pacific (UOP) – Arthur A. Dugoni School of Dentistry*, pelo acolhimento e excelente oportunidade de aprendizado.

Aos demais docentes do Programa de Pós-Graduação em Odontologia e da Disciplina de Endodontia da PUCRS, pelos ensinamentos científicos e ótima convivência.

Aos queridos colegas dos cursos de Pós-Graduação em Odontologia da PUCRS, pelo apoio e amizade. Também agradeço aos colegas do Laboratório de Endodontia da *UOP* e os amigos do *Monroe Residence Club*. A companhia de vocês foi muito prazerosa e vai deixar saudades.

A todos os docentes e colegas que participaram dessa trajetória, em especial aos professores de Endodontia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), com os quais tive a oportunidade de conviver no período em que fui professora substituta. Tal experiência foi essencial para sedimentar meu desejo de seguir na carreira acadêmica.

A todos vocês os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Os objetivos deste estudo foram: avaliar, utilizando diferentes metodologias e substratos, a eficiência de corte de instrumentos rotatórios de níquel-titânio para alargamento cervical; investigar a influência da velocidade e do número de usos na eficiência de corte de tais instrumentos; observar a presença de defeitos na superfície dos mesmos. Primeiramente, foram confeccionados blocos de dentina bovina (n=20) e de acrílico (n=20), os quais serviram de substrato para a atuação dos seguintes instrumentos: BioRaCe BR0 (BR), HyFlex CM 1 (HY), ProFile OS #2 (PF) e ProTaper Sx (PT). Cada instrumento atuou por 60 segundos lateralmente aos blocos, montados em uma plataforma de testes. Os instrumentos foram utilizados em duas velocidades (250 e 500 rpm), até cinco vezes. Em um primeiro momento, os blocos foram observados em um estereomicroscópio e as medidas de área e comprimento dos sulcos formados pelos instrumentos foram utilizadas como parâmetro para avaliar a eficiência de corte. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente, com nível de significância de 5%. HY e PF foram os instrumentos mais e menos eficientes ($P < 0.05$), respectivamente. Em acrílico, com o aumento da velocidade, houve aumento significativo da área e do comprimento dos sulcos para todos os instrumentos. Em dentina, houve aumento significativo da área para HY e PT e do comprimento para BR, HY e PT. Com relação ao número de usos, não houve perda de eficiência de corte em acrílico. Já em dentina, os instrumentos PF e PT apresentaram eficiência significativamente menor após o quarto e quinto uso (menor comprimento dos sulcos). Para todos os instrumentos, foi detectada forte correlação entre os resultados em acrílico e dentina. Em um segundo momento, outros dois parâmetros foram utilizados para determinar a eficiência de corte.

Os blocos de dentina foram avaliados em um perfilômetro, para determinação da profundidade máxima de corte dos sulcos gerados e metade deles também foi investigada em microtomografia computadorizada, para verificação do volume de dentina extraída. Os dados foram analisados estatisticamente, com nível de significância de 5%. Novamente, HY e PF foram os instrumentos mais e menos eficientes ($P < 0.05$). O aumento da velocidade proporcionou aumento significativo da profundidade de corte (BR, HY e PT) e do volume de dentina extraída (HY e PF). Os instrumentos BR e PT perderam a eficiência de corte após uso repetido (profundidade de corte e volume), assim como o HY (volume). Foi detectada correlação positiva entre os resultados do perfilômetro e microtomógrafo. Por fim, parte dos instrumentos foi examinada em microscopia eletrônica de varredura (MEV), quanto à presença de defeitos de superfície. A maioria deles apresentou bordos de corte arredondados após o uso, porém não foi observada deformação relevante ou fratura. Pode-se concluir que a estereomicroscopia apresentou resultados semelhantes aos métodos consagrados (perfilometria e microtomografia), mostrando a superioridade do instrumento HY. Os aumentos da velocidade e do número de usos influenciaram positiva e negativamente, respectivamente, a eficiência de corte dos instrumentos de níquel-titânio para alargamento cervical.

Palavras chave (DeSC): Endodontia, instrumentos odontológicos, preparo de canal radicular.

ABSTRACT

This study aimed to: evaluate, using different methods and substrates, the cutting efficiency of nickel-titanium rotary instruments for coronal flaring; investigate the influence of rotational speed and number of uses on the cutting efficiency of such instruments; observe the presence of surface defects. First, bovine dentin blocks (n=20) and acrylic blocks (n=20) were made, as substrate for evaluating the performance of the following instruments: BR0 BioRaCe (BR), HyFlex CM 1 (HY), ProFile OS #2 (PF) and ProTaper Sx (PT). Each instrument worked sideward for 60 seconds, mounted on a testing platform. The instruments were used at two rotational speeds (250 and 500 rpm) up to 5 times. On the first stage, those blocks were observed under a stereomicroscope and the notches created by the instruments were measured. Area and length were used as parameters to assess cutting efficiency. Data were statistically analyzed with significance level set at 5%. HY and PF were the most and least efficient instruments ($P < 0.05$), respectively. Against acrylic, with greater speed, significant increase in area and length was observed for all instruments. Against dentin, there was significant increase in area for HY and PT and in length for BR, HY and PT. Regarding the number of uses, there was no cutting efficiency loss against acrylic. On dentin, however, PF and PT instruments were significantly less efficient after the fourth and fifth use (shorter length). Strong correlation was found between the results on acrylic and dentin for all brands. On the second stage, two new parameters were used to assess cutting efficiency. Dentin blocks were evaluated under a profilometer to determine the maximum cutting depth of the notches. Half of them were also investigated by microcomputed tomography (micro-CT) to check the volume of extracted dentin. Data were statistically

analyzed with significance level set at 5%. Again, HY and PF were the most and least efficient instruments ($P < 0.05$). Speed increase significantly improved maximum cutting depth (BR, HY and PT) and volume of extracted dentin (HY and PF). BR and PT instruments lost their cutting efficiency after repeated use (depth and volume) as well as HY (volume). Positive correlation coefficients were found between profilometry and micro-CT results. Finally, instruments were examined under scanning electron microscopy (SEM) for the presence of surface defects. Most instruments had blunt cutting edges after use, but there was no relevant deformation or fracture. In conclusion, stereomicroscopy showed similar results to well-recognized methods (profilometry and micro-CT), evidencing HY superiority. Rotational speed and number of uses had a positive and negative influence, respectively, on the cutting efficiency of nickel-titanium coronal flaring instruments.

Keywords (DeSC): Endodontics, dental instruments, root canal preparation.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 09 |
| 1.1 Instrumentos rotatórios de níquel-titânio..... | 10 |
| 1.2 Instrumentos para alargamento cervical..... | 13 |
| 1.3 Eficiência de corte dos instrumentos endodônticos..... | 16 |
| 1.4 Objetivos..... | 23 |
| 2. CAPÍTULO I..... | 24 |
| 3. CAPÍTULO II..... | 47 |
| 4. DISCUSSÃO | 66 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 73 |
| 6. REFERÊNCIAS | 74 |
| 7. APÊNDICES..... | 83 |
| 8. ANEXOS..... | 86 |

1. INTRODUÇÃO

A instrumentação dos canais radiculares é uma importante etapa da terapia endodôntica. Juntamente com a irrigação, a instrumentação propicia a limpeza, desinfecção e modelagem do canal radicular. Tais procedimentos permitem uma adequada obturação e contribuem para o sucesso do tratamento (LIN, SKRIBNER & GAENGLER, 1992). Ao trabalhar no conduto efetuando a limpeza mecânica, os instrumentos vão planificando e regularizando as paredes, modelando o canal de forma a permitir a penetração adequada da solução irrigadora e, posteriormente, do material obturador (PETERS, 2004).

Ao longo da história, uma grande variedade de instrumentos tem sido proposta com a finalidade de tornar a limpeza mecânica do canal radicular mais eficiente. Inicialmente, os instrumentos endodônticos eram fabricados em aço carbono e, posteriormente, em aço inoxidável. Em 1962, a Associação Americana de Endodontia aceitou as sugestões feitas por INGLE & LEVINE (1958) na tentativa de padronizar os instrumentos, criando uma escala de numeração, vigente até hoje. Essa escala numérica representa o diâmetro da ponta ativa do instrumento, expresso em centésimos de milímetros. Os instrumentos manuais mais utilizados são dos tipos Kerr (K) e Hedstroem (H). Além disso, a conicidade dos instrumentos foi padronizada em 0.02 mm/mm de comprimento a partir da ponta.

Visando facilitar e tornar mais rápido o trabalho do endodontista, algumas tentativas foram feitas no sentido de se empregar instrumentos de aço inoxidável acionados a motor. Alguns aparelhos foram desenvolvidos, mas fracassos constantes ocorreram. Os instrumentos de aço inoxidável não têm a flexibilidade necessária para serem usados com movimentos rotatórios no interior de canais

curvos sem modificar a trajetória original dos mesmos. Além disso, a fratura desses instrumentos era muito frequente (SPANGBERG, 2000).

A utilização eficiente e previsível de instrumentos rotatórios no preparo químico-mecânico de canais radiculares só se tornou possível a partir da introdução das ligas de níquel-titânio na Endodontia.

1.1 Instrumentos rotatórios de níquel-titânio

A liga de níquel-titânio foi desenvolvida no início da década de 60, por pesquisadores que buscavam um material com propriedades antimagnéticas e resistência à corrosão pela água do mar (BUEHLER, GILFRICH & WILEY, 1963). Logo foi utilizada no programa espacial americano, na fabricação de antenas para naves e satélites. A liga, que na época ficou conhecida como *Nitinol*, apresenta propriedades únicas: memória de forma e superelasticidade. Dessa maneira, após sofrer ação de uma carga, o *Nitinol* tem a capacidade de retornar a sua forma original sem sofrer deformação plástica (THOMPSON, 2000).

Tais propriedades estão relacionadas ao arranjo atômico da liga de níquel-titânio, o qual difere de ligas convencionais como o aço inoxidável. No aço, os átomos podem se mover uns contra os outros em pequena quantidade até que ocorra uma deformação plástica. Por outro lado, na liga de níquel-titânio, existe uma reversibilidade entre duas conformações (austenita e martensita), dependendo da temperatura e da tensão externa. Tal reversibilidade é responsável pelas características de memória de forma e superelasticidade (PETERS & PAQUÉ, 2010).

O uso da liga de níquel-titânio na Odontologia foi sugerido primeiramente por CIVJAN, HUGET & DESIMON (1975). Mais tarde foi confeccionado o primeiro

instrumento endodôntico em níquel-titânio a partir de um fio ortodôntico submetido a processo de usinagem (WALIA, BRANTLEY & GERSTEIN, 1988). Os protótipos foram comparados a instrumentos tipo K de aço inoxidável, de mesmo calibre (número 15), em testes de cisalhamento e torção. Os autores concluíram que os instrumentos de níquel-titânio são significativamente mais flexíveis que os de aço inoxidável, e sugeriram o emprego daqueles para facilitar a instrumentação de canais curvos.

Atualmente, existem no mercado diversos instrumentos endodônticos de níquel-titânio que foram projetados para serem utilizados em movimentos mecânicos rotatórios, no sentido horário, acionados por motores elétricos que oferecem velocidades constantes. Muitos motores possuem também controle automático de torque (SOARES & GOLDBERG, 2001; PETERS & PAQUÉ, 2010).

Existem evidências experimentais e clínicas de que o uso de instrumentos de níquel-titânio, especialmente com movimentos rotatórios, proporciona um preparo de maior qualidade, com menor incidência de erros operatórios, quando comparados aos instrumentos de aço inoxidável (COLEMAN *et al.*, 1996; PETTIETTE, DELANO & TROPE, 2001; TAN & MESSER, 2002; CHEUNG & LIU, 2009; PETERS & PAQUÉ, 2010).

Alguns aspectos da geometria dos instrumentos rotatórios são importantes para o entendimento de suas propriedades mecânicas, conforme descrito a seguir.

Conicidade – É o aumento do diâmetro da parte ativa do instrumento por unidade de comprimento. Alguns instrumentos rotatórios têm conicidade constante ao longo de sua parte ativa, podendo variar de 0.02 até 0.12 mm/mm. No entanto, já existem sistemas rotatórios com diferentes conicidades ao longo do mesmo instrumento (KOCH & BRAVE, 2002; MCSPADDEN, 2007).

Ponta ou guia de penetração – É a estrutura localizada na extremidade da parte ativa do instrumento. Uma ponta cônica não-cortante funciona como guia, possibilitando a manutenção do instrumento endodôntico na luz do canal durante o movimento de penetração. Já uma ponta ativa tem a capacidade de efetuar desgaste na direção apical, e pode promover desvio do trajeto original do canal (PETERS, 2004; PETERS & PAQUÉ, 2010).

Haste helicoidal – Estende-se da base da ponta até a parte intermediária do instrumento. Juntamente com a ponta, forma a parte ativa do instrumento, sendo a estrutura responsável pelo desgaste de dentina nas paredes do canal radicular. Assim como nos instrumentos manuais, é cônica e sua seção transversal pode apresentar diferentes formatos (LOPES & SIQUEIRA, 1999).

Ângulo helicoidal – É o ângulo formado entre o eixo longitudinal do instrumento e a hélice, ou seja, a superfície cortante. Na maioria dos sistemas rotatórios, o ângulo helicoidal é constante. Isso traz como desvantagem um maior efeito de aparafusamento, ou seja, o instrumento tende a penetrar cada vez mais no interior do canal, podendo travar e fraturar, se o motor continuar girando. Inclinações diferentes das hélices de um mesmo instrumento reduzem esse efeito. Assim, alguns sistemas foram desenvolvidos com tal característica (KOCH & BRAVE, 2002).

Canaletas helicoidais (*flutes*) – Atuam como área de escape, uma vez que estes espaços servem para coletar tecido mole e raspas de dentina, removidos durante a instrumentação. Por elas também ocorre o fluxo das soluções irrigadoras (MCSPADDEN, 2007).

Núcleo – É a parte central do instrumento, delimitada pela base das canaletas helicoidais. É o volume interno do metal, o qual pode influenciar tanto a resistência quanto a flexibilidade do instrumento (MCSPADDEN, 2007).

Guia radial – É uma superfície plana, imediatamente posterior ao ponto de corte. Projeta-se axialmente, a partir do núcleo do instrumento até sua superfície cortante, com a finalidade de manter o instrumento centrado no canal e evitar o efeito de aparafusamento (KOCH & BRAVE, 2002). Os instrumentos que apresentam essa característica podem ser usados com suaves movimentos de bicada. Já instrumentos que não possuem guias radiais apresentam uma ação de corte mais ativa e devem ser usados com movimentos de pincelamento (PETERS & PAQUÉ, 2010).

Ângulo de saída (*rake angle*) – Refere-se ao ângulo de incidência da superfície cortante do instrumento sobre a parede do canal. De acordo com Siciliano (2008), instrumentos com pelo menos um ângulo de saída positivo possuem maior eficiência de corte quando comparados a instrumentos com ângulo de saída negativo. Esses últimos são menos eficientes, pois realizam uma ação de raspagem ao invés de uma ação de corte, no entanto são mais resistentes ao desgaste (MCSPADDEN, 2007).

1.2 Instrumentos para alargamento cervical

A embocadura do canal radicular representa uma área onde ocorre grande aposição de dentina e, conseqüentemente, uma maior área de estresse aos instrumentos endodônticos. A eliminação prévia de interferências nessa região facilita a realização do preparo químico-mecânico, especialmente em canais curvos (SOARES & GOLDBERG, 2001). Pesquisas têm demonstrado que o alargamento

cervical proporciona melhores resultados na odontometria eletrônica (IBARROLA *et al.*, 1999; CAMARGO *et al.*, 2009; MORGENTAL *et al.*, 2012) e permite uma determinação mais precisa do instrumento apical inicial (PÉCORA *et al.*, 2005; TENNERT *et al.*, 2010).

A maioria dos sistemas rotatórios de níquel-titânio apresenta uma sequência de instrumentos que atua no sentido coroa-ápice (*crown-down*), ou seja, instrumentos mais calibrosos precedem os menos calibrosos, à medida que os mesmos progridem apicalmente (PETERS, 2004). Essa abordagem é fundamental para reduzir o estresse friccional proporcionado pelas paredes dentinárias e pode melhorar a qualidade do preparo químico-mecânico (LUITEN *et al.*, 1995).

O alargamento cervical pode ser realizado com fresas ou instrumentos rotatórios de níquel-titânio e deve promover um desgaste seguro do terço cervical do canal radicular, proporcionando um acesso reto ao terço apical. Tal procedimento não deve gerar um desgaste excessivo, o que ocasionaria paredes dentinárias muito finas ou mesmo perfuração radicular (ABOU-RASS, FRANK & GLICK, 1980; SANFELICE *et al.*, 2010).

Hoje existem no mercado inúmeros sistemas rotatórios de níquel-titânio, sendo que cada fabricante recomenda um instrumento específico para a realização do alargamento cervical. Alguns desses instrumentos serão descritos a seguir.

O sistema ProFile (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, USA) foi introduzido em 1993 e sofreu alterações ao longo dos anos (THOMPSON & DUMMER, 1997). ProFile Orifice Shapers surgiram com o intuito de complementar ou substituir as brocas de Gates-Glidden, permitindo um acesso em linha reta para os terços médio e apical dos canais radiculares. Eles estão disponíveis em seis tamanhos (20/.05; 30/.06; 40/.06; 50/.07; 60/.07; 80/.08) e todos apresentam secção

transversal em forma de U com presença de guias radiais (LLOYD, 2005). O instrumento OS #2 será descrito com maiores detalhes (Apêndice A).

O sistema ProTaper (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, USA) surgiu há cerca de uma década e vem sendo amplamente investigado (RUDDLE, 2001; BERGMANS *et al.*, 2003; WEST, 2006; LOIZIDES *et al.*, 2007; FAYYAD & ELHAKIM ELGENDY, 2011). O instrumento Sx (Apêndice A) é recomendado para alargamento cervical, sendo menor em comprimento do que os demais instrumentos da série *Shaping* (S) e *Finishing* (F).

O sistema BioRaCe (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Suíça) foi recentemente introduzido no mercado e existem poucas informações científicas a seu respeito (LOPES *et al.*, 2010; SIQUEIRA JR *et al.*, 2010). O primeiro instrumento do sistema (BR0) tem grande conicidade, sendo recomendado para alargamento cervical (Apêndice A).

Os instrumentos HyFlex CM (Coltene, Cuyahoga Falls, OH, EUA) também foram lançados recentemente, sendo compostos por uma liga com controle de memória (*CM-wire*). Durante o processo de fabricação, a liga de níquel-titânio passa por um complexo tratamento termomecânico. Estudos recentes demonstraram que tais instrumentos apresentam flexibilidade e resistência à fadiga cíclica aumentada em relação a instrumentos confeccionados com a liga convencional superelástica (TESTARELLI *et al.*, 2011; PETERS *et al.*, 2012). Para alargamento cervical, o sistema também apresenta um instrumento com grande conicidade (Apêndice A).

Novos instrumentos rotatórios de níquel-titânio, com características diversas, estão sendo introduzidos no mercado constantemente. Essa grande variedade e a pressão mercadológica podem confundir os profissionais da área. Portanto,

pesquisas são necessárias para avaliar a eficiência e segurança qualidade dos novos instrumentos.

1.3 Eficiência de corte dos instrumentos endodônticos

Dentre as propriedades mecânicas desejáveis de um instrumento endodôntico destacam-se: flexibilidade, resistência à fratura e eficiência de corte (SHEN & HAAPASALO, 2008). Esta última pode ser influenciada por diversos fatores, tais como: design da secção transversal, ângulo helicoidal e ângulo de saída, propriedades metalúrgicas e tratamentos de superfície (SCHÄFER & OITZINGER, 2008).

A eficiência de corte pode ser caracterizada como o volume de material excisado, sob condições de corte bem definidas, tais como força, torque, lubrificação, entre outros (YGUEL-HENRY & VON STEBUT, 1994). No entanto, não existe um consenso entre os autores quanto à definição de eficiência de corte e o desenvolvimento de um modelo experimental plenamente satisfatório para sua análise, o que permanece sendo um desafio (SHEN & HAAPASALO, 2008).

A literatura endodôntica registra a utilização de diferentes substratos e parâmetros para a avaliação da eficiência de corte dos instrumentos, como descrito abaixo.

Alguns autores têm utilizado blocos de resina acrílica ou blocos plásticos contendo canais simulados (RAPISARDA *et al.*, 2000; SCHÄFER, 2002a; SCHÄFER, 2002b; SCHÄFER & OITZINGER, 2008; BUI, MITCHELL & BAUMGARTNER, 2008). A vantagem deste substrato é a uniformidade de composição e dureza homogênea. Porém, tal método não reflete as condições clínicas de uso e foi idealizado com o intuito de estabelecer comparações.

RAPISARDA *et al.*, (2000) utilizaram blocos de resina pré-fabricados e avaliaram se tratamentos de superfície melhoram a eficiência de corte de instrumentos rotatórios de níquel-titânio do sistema ProFile (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, Suíça). Cada instrumento realizou 16 subciclos de 5 segundos. Os blocos foram pesados antes e após a atuação dos instrumentos. Pela diferença de peso dos blocos, chegou-se à quantidade de material removido, parâmetro utilizado para expressar a eficiência de corte de cada um deles. Os autores concluíram que os tratamentos de superfície propostos, implantação iônica de nitrogênio e nitretação térmica, foram efetivos.

SCHÄFER (2002a) investigou possíveis alterações na eficiência de corte de instrumentos tipo K de níquel-titânio, tratados sob diferentes parâmetros por um processo de deposição a vácuo. Tal procedimento deposita uma cobertura de nitreto de titânio (TiN) sobre a superfície do instrumento. Foram utilizados blocos plásticos, contendo canais simulados, para comparar a eficiência de corte dos grupos que receberam diferentes tratamentos. Os instrumentos trabalhavam nos blocos, acionados por um motor especialmente desenvolvido para esse fim. O critério aqui utilizado foi a profundidade máxima de penetração dos instrumentos. A eficiência de corte dos instrumentos tratados foi significativamente superior a dos não tratados (grupo controle).

Em outro trabalho, esse autor utilizou novamente blocos plásticos e o mesmo critério de avaliação, para investigar a possível alteração na eficiência de corte de instrumentos tipo K de níquel-titânio convencionais ou cobertos por TiN, após exposição a 5 e 10 ciclos de esterilização em autoclave. Outro grupo foi, ainda, imerso em hipoclorito de sódio (NaOCl) por 30 minutos antes de ser submetido à autoclavagem. O autor observou que os instrumentos que receberam tratamento de

superfície não perderam sua eficiência de corte mesmo depois de repetidos ciclos de esterilização ou exposição ao NaOCl (SCHÄFER, 2002b).

SCHÄFER & OITZINGER (2008) compararam a eficiência de corte de cinco instrumentos rotatórios de níquel-titânio: Alpha-File (Komet, Lemgo, Alemanha), FlexMaster (VDW, Munique, Alemanha), MTwo (VDW, Munique, Alemanha), ProFile (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, Suíça) e RaCe (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Suíça), valendo-se da mesma metodologia descrita acima. Os autores observaram que, para os instrumentos de tamanho 25/.06, MTwo e RaCe foram significativamente mais efetivos. Já para os instrumentos 35/.04, FlexMaster, MTwo e RaCe foram superiores aos demais. Para ambos os tamanhos, os instrumentos ProFile mostraram eficiência de corte significativamente inferior a dos outros grupos.

Outro critério utilizado para avaliar a eficiência de corte, utilizando blocos plásticos com canais artificiais, foi a velocidade de penetração dos instrumentos, sob ação de uma força constante de 100 gramas por um tempo de cinco segundos. Nesse trabalho, os autores investigaram o efeito de um polimento eletrolítico na resistência à fadiga, à torção e na eficiência de corte de instrumentos do sistema ProFile (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, Suíça). Media-se a penetração da lima após o acionamento do motor e, dividindo-se por 5 segundos, chegava-se à velocidade de corte, em milímetros por segundo. Os autores não encontraram diferença entre o grupo experimental e o grupo controle em relação à eficiência de corte (BUI, MITCHELL & BAUMGARTNER, 2008).

Como substituto de dentina em ensaios de eficiência de corte, outro substrato que tem sido empregado é o fêmur bovino. De um só fêmur podem-se extrair várias amostras de dureza semelhante. Seu uso como padrão de corte foi introduzido por OLIET & SORIN (1973) que avaliaram a capacidade de corte de instrumentos

endodônticos manuais, adaptados a um dispositivo para que trabalhassem em rotação sobre o osso bovino. O critério para a comparação da eficiência foi a profundidade de penetração. Os instrumentos de secção transversal triangular mostraram-se mais eficientes que os de secção quadrangular.

Usando tal substrato, MISERENDINO, *et al.*, (1985) avaliaram a eficiência de corte de sete tipos de instrumentos endodônticos manuais. Foi empregado um dispositivo especial que registrava a quantidade de energia requerida para alargar canais artificiais confeccionados em osso bovino. A eficiência de corte foi definida como o volume de tecido duro removido por unidade de energia despreendida durante o preparo. Os autores observaram que a ponta dos instrumentos desempenha maior eficiência de corte em relação à região espiral. Em pesquisa subsequente, os mesmos autores verificaram que o design da ponta do instrumento apresenta grande influência sobre sua eficiência de corte (MISERENDINO *et al.*, 1986).

YGUEL-HENRY, VANNESSON & VON STEBUT (1990) utilizaram também fêmur bovino para comparar a eficiência de corte de instrumentos de aço inoxidável tipo K e H. Os autores desenvolveram um método onde os instrumentos eram mantidos entre duas placas de osso bovino com uma pressão controlada e movimentadas mecanicamente. Cada lima efetuava três ciclos de avanço e retrocesso, com 3 mm de amplitude, a uma velocidade constante. Com um perfilômetro, a região trabalhada foi mapeada e o volume de material removido foi calculado. Os ensaios foram realizados a seco, sob lubrificação com água ou NaOCl. Os instrumentos tipo H apresentaram maior eficiência. Além disso, a lubrificação aumentou a capacidade de corte de ambos os instrumentos, não havendo influência da natureza do lubrificante: água ou NaOCl.

Em uma pesquisa posterior, YGUEL-HENRY & VON STEBUT (1994) utilizaram metodologia semelhante para avaliar a eficiência de corte de instrumentos de aço inoxidável tipo K e H novos ou utilizados clinicamente. Os instrumentos tipo K apresentaram uma redução de 13% na eficiência após uso *in vivo*, enquanto os instrumentos H mostraram uma redução de 50%.

SHEN & HAAPASALO (2008) utilizaram fêmur bovino para analisar a eficiência de corte de instrumentos rotatórios de níquel-titânio por meio de microtomografia computadorizada. Os parâmetros avaliados foram o volume de material removido e a profundidade máxima de corte. Seis marcas de instrumentos foram avaliadas em séries de 100 a 500 ciclos de avanço e retrocesso. A presença ou ausência de irrigação também foi investigada. Os instrumentos K3 (SybronEndo, Orange, CA, EUA) e FlexMaster (VDW, Munique, Alemanha) apresentaram os melhores resultados, especialmente na presença de irrigação. Houve uma correlação positiva entre o volume de osso removido e profundidade máxima de corte.

Na literatura encontramos até mesmo o registro de opinião pessoal sendo utilizada como critério de avaliação de eficiência de corte de instrumentos endodônticos (KIM *et al.*, 2005). Quarenta instrumentos ProFile (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, Suíça) de número 20/06 receberam tratamento criogênico para aumentar sua dureza, enquanto outros quarenta instrumentos não tratados foram empregados como controle. Os instrumentos trabalharam durante quatro minutos em canais mesiais de molares inferiores extraídos. O motor e a velocidade foram padronizados e houve cegamento dos operadores quanto ao grupo dos instrumentos que estavam utilizando. Os operadores escolheram o instrumento que lhes pareceu mais eficiente. A intenção dos autores era avaliar se o efeito do

tratamento era detectável clinicamente. Os mesmos não encontraram diferença estatisticamente significativa entre os dois grupos estudados.

Para se testar a eficiência de corte em condições mais próximas à realidade clínica, o substrato de eleição deveria ser dentina radicular humana. No entanto, grande variabilidade é introduzida nos experimentos pela diversidade de morfologia dos canais radiculares e de dureza da dentina. Para diminuir essa variabilidade, ao comparar o desempenho de apenas dois instrumentos, alguns autores trabalham em raízes mesiais de molares inferiores, que normalmente possuem dois canais, utilizando um instrumento em cada canal da mesma raiz (BERGMANS *et al.*, 2003; LOIZIDES *et al.*, 2007). Outros procuram compensá-la com um tamanho grande de amostra (VINOTHKUMAR, MIGLANI & LAKSHMINARAYANANAN, 2007; WAN *et al.*, 2010).

Placas de acrílico (plexiglas) e dentina humana foram usadas por KAZEMI, STENMAN & SPANGBERG (1995) para avaliar o desgaste sofrido por instrumentos de aço inoxidável. Os autores partiram de um aparato no qual os instrumentos testados eram movimentados no plano horizontal, para frente e para trás, a uma velocidade e força constantes. Após o corte inicial no plexiglas, os instrumentos trabalhavam sobre padrões de dentina, e novamente no plexiglas. Foram feitas medidas das profundidades desgastadas nas placas antes e depois do trabalho em dentina. Os autores concluíram que os instrumentos apresentam grande perda na eficiência de corte após o uso em dentina, e por isso recomendam seu uso uma única vez.

Em outro trabalho, para avaliar a influência de um tratamento criogênico na eficiência de corte de instrumentos rotatórios de níquel-titânio, foram empregados pré-molares humanos extraídos. Cada instrumento trabalhou no canal radicular por

um tempo determinado (60 segundos) e o dente foi pesado antes e depois. A diferença de peso correspondeu à quantidade de material removido por cada instrumento, parâmetro usado para avaliar a eficiência de corte. O grupo que recebeu tratamento criogênico apresentou eficiência significativamente maior do que o grupo controle (VINOTHKUMAR, MIGLANI & LAKSHMINARAYANANAN, 2007).

Outro potencial substrato para ensaios sobre eficiência de corte de instrumentos endodônticos é a dentina bovina. SICILIANO (2008) avaliou a eficiência de corte e o desgaste de instrumentos de quatro marcas comerciais, novos ou ensaiados por 2 minutos em dentina bovina. O parâmetro empregado foi a corrente acumulada consumida por cada um deles para seccionar placas plásticas (PVC). Observou-se que instrumentos com pelo menos um ângulo de saída positivo (Sistema K3) apresentam maior eficiência de corte, mas sofrem desgaste repentino e imprevisível. Instrumentos com ângulos de saída negativos (Sistema ProTaper, ProFile e Hero 642) possuem menor eficiência, mas maior resistência ao desgaste.

Comparações entre dentina humana e dentina bovina vêm sendo realizadas e já foi demonstrado que tais substratos apresentam similaridades na densidade de túbulos (SCHILKE *et al.*, 2000), na composição da matriz orgânica (PHRUKKANON *et al.*, 2000), na microdureza superficial (DONASOLLO *et al.*, 2007), entre outros aspectos. O uso de dentina bovina em pesquisas odontológicas apresenta algumas vantagens, como a disponibilidade das amostras em frigoríficos e a melhor padronização dos espécimes, já que a idade aproximada dos animais é conhecida e seus hábitos alimentares são semelhantes (CAMARGO, MARQUES & CARA, 2008).

1.4 Objetivos

O presente trabalho foi desenvolvido com os seguintes objetivos:

- a) Avaliar a eficiência de corte de quatro instrumentos rotatórios de níquel-titânio para alargamento cervical, utilizando diferentes métodos e substratos;
- b) Investigar a influência da velocidade e do número de usos na eficiência de corte de tais instrumentos, bem como a presença de defeitos em sua superfície.

2. CAPÍTULO I

Artigo 1

A new method to evaluate the cutting efficiency of nickel-titanium rotary instruments in lateral action

Formatado conforme diretrizes do periódico *Dental Materials*, Qualis A1 e Fator de impacto 3.135

A new method to evaluate the cutting efficiency of nickel-titanium rotary instruments in lateral action

Renata Dornelles Morgental¹, Peters OA², Schulze KA², Kopper PMP³, Vier-Pelisser FV¹

1 – Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil

2 – University of the Pacific, San Francisco, USA

3 – Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil

Corresponding author:

Renata Dornelles Morgental / Fabiana Vieira Vier-Pelisser

Graduate Program in Dentistry

Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul – PUCRS

Av. Ipiranga 6681, Prédio 6

CEP 90619-900

Porto Alegre – RS – Brazil

Phone: 55 51 3320 3562

Email: remorgental@hotmail.com / endopelisser@gmail.com

ACKNOWLEDGMENTS

Renata Dornelles Morgental was supported by MEC/CAPES (Brazilian Federal Agency for Support and Evaluation of Graduate Education) as an exchange scholarship.

ABSTRACT

Objectives. To develop a new method to evaluate the cutting behavior of nickel-titanium (NiTi) coronal flaring instruments used in lateral action, against bovine dentin and acrylic blocks, and to analyze the influence of rotational speed and number of uses.

Methods. BioRaCe BR0 (BR), HyFlex CM 1 (HY), ProFile OS #2 (PF) and ProTaper Sx (PT) worked against both substrates at 250 and 500 rpm and produced 5 notches in each block. Notch area and length were measured under a stereomicroscope and data were compared using parametric tests ($\alpha=0.05$).

Results. For both substrates, HY and PF were the most and the least cutting-efficient instrument, respectively ($P<0.05$). Against acrylic, area and length values at 500 rpm were significantly higher than those at 250 rpm for all brands. Against dentin, significant difference was detected for HY and PT (area), and for BR, HY and PT (length). Regarding cutting efficiency loss, area and length for first and second (1&2) and forth and fifth (4&5) notches were similar against acrylic. Against dentin, length values for notches 1&2 were significantly higher than those for notches 4&5 in PF and PT. Strong correlation was detected between the results obtained on acrylic and dentin ($P<0.0001$).

Significance. Measuring the amount of material removed in a specific time is a reasonable way to assess the cutting behavior of NiTi rotary instruments in lateral action. Increase in rotational speed improves the cutting efficiency. Results against acrylic have a high correlation to results against dentin, but acrylic may not be a proper substrate when the intention is to assess cutting efficiency loss.

Keywords: coronal flaring, cutting efficiency, endodontics, nickel-titanium alloy, root canal preparation, rotational speed.

1. Introduction

The introduction of nickel-titanium (NiTi) to endodontics [1] significantly changed the way root canal preparation is performed. NiTi rotary instruments have enabled clinicians to obtain tapered preparations, while minimizing procedural errors, especially in curved canals [2].

New instrument designs, surface and alloy treatments have been developed over the years. Thus, several brands are available on the market and most of them recommend a crown-down approach. A so-called coronal flaring procedure is typically performed by more tapered instruments and is claimed to be advantageous during the cleaning and shaping phase of the root canal treatment [3,4]. These instruments should act laterally, avoiding the 'danger zone' described by Abou-Rass et al. [5]. Also, the crown-down technique may decrease fracture risks by preventing a large portion of an instrument from engaging root dentin [6].

NiTi rotary instruments should have some desirable mechanical properties, such as shaping ability, flexibility, resistance to breakage and cutting efficiency [7]. Different methodologies have been used to evaluate the cutting efficiency of endodontic instruments, such as: weight loss analysis [8-10], profilometry [11,12] and microcomputed tomography [7]. Moreover, several substrates have been used for such purpose: human dentin [10], bovine bone [7, 11-14], acrylic or plastic blocks [8,9,15-21]. Despite the extensive literature, there is a lack of information about the cutting behavior of NiTi coronal flaring instruments.

Currently, there is no consensus regarding the most adequate parameters to assess the cutting efficiency of endodontic instruments, in particular those used in lateral action. However, the measurement of the amount of material removed in a specific time seems a simple and rational way to do it. Thus, the aims of this study

were: (1) to develop a new method to evaluate the cutting behavior of NiTi rotary instruments in lateral action; (2) to compare two different substrates; (3) to analyze the influence of rotational speed and number of uses on the cutting efficiency of four brands of coronal flaring instruments.

2. Materials and methods

This study was approved by Dental School Science and Ethics Commission of Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul (protocol number 056/11) (Anexo A).

Substrates

Twenty dentin blocks were made from extracted bovine incisors obtained from animals aged approximately two years old and slaughtered for commercial purposes. After cleaning with periodontal cures and storage in 0.1% thymol solution at 5°C [22], teeth were cut using a double-sided diamond disc mounted on a cutting machine (Techcut 4 - Allied High Tech Products Inc, Rancho Dominguez, CA), in order to obtain dentin blocks with 20 mm height and 5 x 5 mm base. Twenty acrylic blocks (Custom Creative Plastics, Miami, FL) with the same dimensions were also used.

Instruments

A total of one hundred and sixty instruments were used, including forty of each of the following:

- BR: BioRaCe BR0 – 25/.08 (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Switzerland);

- HY: HyFlex CM 1 – 25/.08 (Coltene, Cuyahoga Falls, OH, USA);
- PF: ProFile Orifice Shapers #2 – 30/.06 (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, USA);
- PT: ProTaper Sx – 19/multiple taper (Dentsply Tulsa Dental Specialties).

Eighty instruments were used against each substrate (dentin and acrylic). Under both conditions, the instruments were examined at two different speeds: 250 and 500 rpm. Thus, a total of 8 experimental groups were evaluated, and the sample size was 10 instruments per group. The four different brands were used in different sides of the same block in each condition to account for variations of dentin properties.

Determination of bending moments

Before cutting efficiency testing, the bending behavior of each instrument was tested using a Model 1011 Universal Testing Machine (Instron Corp, Canton, MA). A chisel was moved with a speed of 1 mm/min against a point 5 mm off the tip and the force needed to bend the instrument was determined. Two instruments of each brand were tested in triplicate. Based on the linear behavior of each brand, a force of 1.25 N was selected for HY and 2.5 N was selected for the others, since it became obvious that HY instruments behaved differently from the other files tested in that less force was needed for similar displacements.

Using these values, specific displacements were calculated for each system to maintain a similar force between substrate and rotary instrument in the testing platform, as follows: 640 μm for BR, 1100 μm for HY, 920 μm for PF and 600 μm for PT (Fig. 1).

Cutting efficiency analysis

To assess cutting efficiency, dentin and acrylic blocks were engaged in a computer-controlled testing platform (Fig. 2a) described previously [22-24]. Briefly, it has a specially designed holder, a torque sensor and motors to drive the instruments in linear and rotational motion. The unit is controlled by a program called ENDOTEST running on a Macintosh Power PC computer (Apple, Cupertino, CA, USA).

The instruments were placed in contact with the blocks at 5 mm from their tip (Fig. 2b,c). They were run for 60 seconds in lateral action against the substrates, with axial movements and amplitude of 4 mm. Torque was established at 5 N.cm. Each instrument was used five times, under the conditions described above, thus producing five notches in each side of the block. The instruments were cleaned with a sponge after each use, to remove dentin or acrylic chips from their flutes.

Each dentin and acrylic block was examined under 40x magnification in a stereomicroscope Discovery.V8 (Zeiss, Oberkochen, Germany). Images of the notches were obtained by using the Axio Vision Release 4.2.8 software (Zeiss, Oberkochen, Germany). Two parameters were used to determine the amount of dentin or acrylic removed: area and length of each notch measured by ImageJ 1.46 software (National Institutes of Health, Bethesda, MD), as shown in Fig. 3. Measurements were performed by one calibrated examiner (ICC = 0.9784 for area, ICC = 0.9713 for length; $P < 0.000$).

Statistical analysis

Data analysis was performed separately for dentin and acrylic blocks by ANOVA and Bonferroni post-hoc test. Unpaired t-test was used to compare the results between 250 and 500 rpm. Data from first and second (1&2) and forth and

fifth (4&5) notches were binned together and compared using paired t-tests. Pearson correlation coefficients were calculated between the results obtained on those two substrates, and then regression analysis was applied to verify if the results on acrylic could predict the results on dentin for each individual brand. Significance level was set at 5% and the analysis was performed by StatView software version 4.51 (Abacus Concepts Inc, Berkeley, CA).

3. Results

Fig. 4 shows data generated for each commercial brand against dentin and acrylic blocks. On both substrates, the highest and lowest values for area and length were obtained by HY and PF, respectively ($P < 0.05$). BR and PT showed similar results, except for area on dentin, where PT had higher values ($P < 0.05$).

Comparison between the results achieved at 250 and 500 rpm was performed for each instrument, as shown in Fig. 5. On acrylic, area and length values at 500 rpm were significantly higher than those at 250 rpm for all instruments ($P < 0.05$). On dentin, significant difference was detected between 250 and 500 rpm for HY and PT (area), and for BR, HY and PT (length).

Fig. 6 presents the comparison between data obtained from notches 1&2 and 4&5. On acrylic, area and length for notches 1&2 and 4&5 were similar. Otherwise, on dentin, length values for notches 1&2 were significantly higher than those for notches 4&5 in PF and PT.

Strong correlations were detected between the results obtained on acrylic and dentin for area ($r = 0.82$, $P < 0.0001$) and length ($r = 0.81$, $P < 0.0001$). Regarding each individual brand, regression analysis detected high correlation coefficients for area in

BR, HY, PF and PT ($r^2 = 0.91, 0.93, 0.85, 0.91$, respectively; $P < 0.0001$) and also for length in BR, HY, PF and PT ($r^2 = 0.96, 0.96, 0.93, 0.96$, respectively; $P < 0.0001$).

4. Discussion

This study established a new protocol to evaluate cutting efficiency for endodontic instruments used in lateral action in the coronal portion of the root canal system, the so-called coronal flaring step. During this procedure, in curved root canals, a brushing motion is recommended in order to avoid the 'danger zone' described by Abou-Rass et al. [5], i.e., the narrowest dentin wall close to the furcation area. For this matter, cutting efficiency in lateral action is an important factor to consider in clinical practice. Measuring the notches produced by each instrument allowed to compare the cutting action of different brands.

Weight loss from acrylic or plastic blocks [8,9] or from extracted teeth [10] has been used to assess cutting efficiency of endodontic instruments. However, it is not easy to accurately measure the amount of material removed by some NiTi rotary instruments via weight measurements because of their relatively low cutting ability [7]. We performed a pilot investigation where it was not possible to detect reproducible differences of weight before and after the use of NiTi instruments in lateral action by a precision balance (data not shown). Profilometry [11,12] and microcomputed tomography [7] are suitable but expensive methodologies to assess cutting efficiency.

Moreover, the choice of a proper substrate is essential. Bovine dentin seems an adequate substitute for human dentin, considering the similarity of these two tissues [25-28] and the ethical factors involved. Still, acrylic and plastic blocks were

extensively used to assess cutting efficiency, so it is important to compare the results of this material to those of dentin.

HyFlex CM is a new NiTi rotary system that has been commercialized since 2011. It has no rebound and may regain their shape after sterilization [24]. HY have been produced by an innovative process that uses a sequence of heating and cooling treatments, which controls the shape memory. In the present study, HY was the most cutting-efficient instrument against both dentin and acrylic, even though half force (1.25 N) has been used in relation to the other brands (2.5 N). There is no clear explanation for its better cutting ability but one possible reason is the configuration of its flutes, which could store a greater amount of dentin or acrylic chips. Another possible reason is an increase in the surface hardness, as a result of the alloy thermomechanical processing.

This new manufacturing method used with HY provides higher flexibility and cyclic fatigue resistance, as shown by Peters et al. [24] and Testarelli et al. [29]. In previous studies, Shen et al. [30,31] used a similar NiTi system (Typhoon; Clinician's Choice Dental Products, Milford, CT, USA), also produced with controlled memory wire (CM-wire), and concluded that these instruments have unique metallurgical features and higher fatigue lifetime when compared to conventional NiTi wire files. However, so far, there was no scientific information about the influence of this novel manufacturing process on cutting ability.

On the other hand, PF was the least efficient instrument in lateral action on dentin and acrylic. Its cross-sectional design is the main reason for this outcome. PF is not an actively cutting instrument because it possesses a radial-landed U-File design [2]. Previous studies showed that it had lower cutting ability than non-landed instruments [7,21]. BR and PT had similar results, probably because they have

similar designs with a triangular cross-section. Lopes et al. [32] found that the eletropolishing surface treatment increases the cyclic fatigue resistance of BR instruments. This method of surface finishing may remove surface defects that remain after the machining process and may improve some mechanical properties but it apparently does not influence the cutting efficiency, as found by Bui et al. [20].

Area and length obtained against dentin were lower than against acrylic, as expected, because of their different hardness. However, instruments cutting behavior was similar on both substrates (HY > PT/BR > PF) and there was a strong correlation between their results. Acrylic blocks have uniform composition and homogeneous hardness, which could be advantageous in comparison to human or bovine dentin, however this material does not reflect the clinical conditions of use and has been employed in order to make comparisons. Kazemi et al. [16] evaluated the machining efficiency of NiTi files against acrylic plates (plexiglas) and human dentin and also concluded that the cutting behavior on the first substrate is more prominent.

The influence of rotational speed on mechanical properties of NiTi instruments was approached previously [33-35] but there was no clear information about its influence on cutting behavior. In the present study, an increased speed allowed greater cutting efficiency. Interestingly, the difference between 250 and 500 rpm was more evident on acrylic than on dentin. Against dentin, the variation of rotational speed did not interfere with the cutting efficiency of PF, which has a radial-landed design. Still, the safety of using a higher speed must be considered. Yared et al. [33] evaluated PF instruments of different sizes at 150, 250 and 350 rpm. The researchers found a higher incidence of locking, deformation and fracture in the last group. In another study, Lopes et al. [34] assessed the influence of rotational speed

(300 x 600 rpm) on the cyclic fatigue of PT instruments. Their results showed a 30% reduction in the number of cycles to fracture as the speed was increased.

Regarding the number of uses, against dentin, notches 1&2 had greater area and length than notches 4&5 for all brands but significantly difference was detected only for PF and PT (length). We may say there is a tendency to lose cutting ability with repeated use, especially in depth. Nevertheless, against acrylic, there was no significant difference between 1&2 and 4&5, i.e., the number of uses (up to 5 minutes) did not interfere with cutting efficiency. So, acrylic does not seem to be a good substrate when the researcher aims to assess cutting efficiency loss of NiTi instruments. These findings agree with those by Kazemi et al. [16]. According to their study, the wear on the NiTi files that was easily observed on dentin could only poorly or not at all be shown in plexiglas. One explanation may be the deformation of the machining edges that takes place when NiTi instruments are used on dentin, a phenomenon that does not happened on plexiglas.

In conclusion, the methodology applied in this study seems an easy, inexpensive and reproducible way to evaluate cutting efficiency of NiTi instruments in lateral action. The results suggest that an increase in rotational speed improves the cutting efficiency of coronal flaring instruments. Data obtained against acrylic have a high correlation to the data against dentin, but acrylic may not be a proper substrate when the intention is to assess cutting efficiency loss with repeated use. Further researches are necessary to confirm and explain the superiority of the new HY instrument. Its cutting efficiency inside root canals of human permanent teeth must be evaluated.

REFERENCES

- [1] Walia HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod* 1988;14:346-51.
- [2] Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod* 2004;30:559-67.
- [3] Camargo EJ, Zapata RO, Medeiros PL, Bramante CM, Bernardineli N, Gardia RB, Moraes IG, Duarte MAH. Influence of preflaring on the accuracy of length determination with four electronic apex locators. *J Endod* 2009;35:1300-2.
- [4] Tennert C, Herbert J, Altenburguer MJ, Wrbas K. The effect of cervical preflaring using different rotary nickel-titanium systems on the accuracy of apical file size determination. *J Endod* 2010;36:1669-72.
- [5] Abou-Rass M, Frank AL, Glick DH. The anticurvature filling method to prepare the curved root canal. *J Am Dent Assoc* 1980;101:792-4.
- [6] Blum Y, 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;32:108-14.
- [7] Shen Y, Haapasalo M. Three-dimensional analysis of cutting behavior of nickel-titanium rotary instruments by microcomputed tomography. *J Endod* 2008;34:606-10.
- [8] Miserendino LJ, Brantley WA, Walia HD, Gerstein H. Cutting efficiency of endodontic hand instruments. Part 4. Comparison of hybrid and traditional instrument designs. *J Endod* 1988;14:451-4.
- [9] Rapisarda E, Bonaccorso A, Tripi TR, Fragalk I, Condorelli GG. The effect of surface treatments of nickel-titanium files on wear and cutting efficiency. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000;89:363-8.

- [10] Vinothkumar TS, Miglani R, Lakshminarayanan L. Influence of deep dry cryogenic treatment on cutting efficiency and wear resistance of nickel-titanium rotary endodontic instruments. *J Endod* 2007;33:1355-8.
- [11] Yguel-Henry S, Vannesson H, von Stebut J. High precision, simulated cutting efficiency measurement of endodontic root canal instruments: influence of file configuration and lubrication. *J Endod* 1990;16:418-22.
- [12] Yguel-Henry S, von Stebut J. Cutting efficiency loss of root canal instruments due to bulk plastic deformation, surface damage, and wear. *J Endod* 1994;20:367-72.
- [13] Miserendino LJ, Moser JB, Heuer MA, Osetek OM. Cutting efficiency of endodontic instruments. Part I: a quantitative comparison of the tip and fluted regions. *J Endod* 1985;11:435-41.
- [14] Miserendino LJ, Moser JB, Heuer MA, Osetek OM. Cutting efficiency of endodontic instruments. Part II: analysis of tip design. *J Endod* 1986;12:8-12.
- [15] Kazemi RB, Stenman E, Spangberg LSW. The endodontic file is a disposable instrument. *J Endod* 1995;21:451-5.
- [16] Kazemi RB, Stenman E, Spångberg LS. Machining efficiency and wear resistance of nickel-titanium endodontic files. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1996;81:596-602.
- [17] Schäfer E, Lau R. Comparison of cutting efficiency and instrumentation of curved canals with nickel-titanium and stainless-steel instruments. *J Endod*. 1999;25:427-30.
- [18] Schäfer E. Effect of physical vapor deposition on cutting efficiency of nickel-titanium files. *J Endod* 2002;28:800-2.

- [19] Schäfer E. Effect of sterilization on the cutting efficiency of PVD-coated nickel-titanium endodontic instruments. *Int Endod J* 2002;8:67-72.
- [20] Bui TB, Mitchell JC, Baumgartner JC. Effect of electropolishing ProFile nickel-titanium rotary instruments on cyclic fatigue, resistance, torsional resistance, and cutting efficiency. *J Endod* 2008;34:190-3.
- [21] Schäfer E, Oitzinger M. Cutting efficiency of five different types of nickel-titanium instruments. *J Endod* 2008;34:198-200.
- [22] Peters OA, Boessler C, Zehnder M. Effect of liquid and paste-type lubricants on torque values during simulated rotary root canal instrumentation. *Int Endod J* 2005;38:223-9.
- [23] Peters OA, Barbakow F. Dynamic torque and apical forces of ProFile .04 rotary instruments during preparation of curved canals. *Int Endod J* 2002;35:379-89.
- [24] Peters OA, Gluskin AK, Weiss RA, Han JT. An in vitro assessment of the physical properties of novel Hyflex nickel-titanium rotary instruments. *Int Endod J* 2012 (in press).
- [25] Schilke R, Lisson JA, Baub O, Geurtsen W. Comparison of the number and diameter of dentinal tubules in human and bovine dentine by scanning electron microscopic investigation. *Arch Oral Biol* 2000;45:355-61.
- [26] Camargo MA, Marques MM, Cara AA. Morphological analysis of human and bovine dentine by scanning electron microscope investigation. *Arch Oral Biol* 2008;53:105-8.
- [27] Wegehaupt F, Gries D, Wiegand A, Attin T. Is bovine dentine an appropriate substitute for human dentine in erosion/abrasion tests? *J Oral Rehabil* 2008;35:390-4.
- [28] Castanho GM, Marques MM, Marques JB, Camargo MA, De Cara AA.

Micromorphological and hardness analyses of human and bovine sclerotic dentin: a comparative study. *Braz Oral Res* 2011;25:274-9.

[29] Testarelli L, Plotino G, Al-Sudani D, Vincenzi V, Giansiracusa A, Grande NM, et al. Bending properties of a new nickel-titanium alloy with a lower percent by weight of nickel. *J Endod* 2011;37:1293-1295.

[30] Shen Y, Qian W, Abtin H, Gao Y, Haapasalo M. Fatigue testing of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2011;37:997-1001.

[31] Shen Y, Zhou HM, Zheng YF, Campbell L, Peng B, Haapasalo M. Metallurgical characterization of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2011;37:1566-71.

[32] Lopes HP, Elias CN, Vieira VT, Moreira EJ, Marques RV, de Oliveira JC, Debelian G, Siqueira JF Jr. Effects of electropolishing surface treatment on the cyclic fatigue resistance of BioRace nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2010;36:1653-7.

[33] Yared GM, Bou Dagher FE, Machtou P. Influence of rotational speed, torque and operator's proficiency on ProFile failures. *Int Endod J* 2001;34:47-53.

[34] Lopes HP, Ferreira AA, Elias CN, Moreira EJ, de Oliveira JC, Siqueira JF Jr. Influence of rotational speed on the cyclic fatigue of rotary nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod* 2009;35:1013-6.

[35] Bardsley S, Peters CI, Peters OA. The effect of three rotational speed settings on torque and apical force with vortex rotary instruments in vitro. *J Endod* 2011;37:860-4.

List of Figures:

Fig. 1 - Bending moments for each instrument brand. HyFlex CM, manufactured with the new CM-wire, had a peculiar mechanical behavior and less force was needed for similar displacements.

Fig. 2 - Methodology setting: (a) Universal torque testing platform that drives the instrument in linear and rotational motion; (b) specific holder used in this study for attaching the blocks and an instrument working in lateral action against acrylic (lateral view); (c) instrument working in lateral action against dentin (top view). Contact point at 5 mm from the tip. Double arrow indicates the axial movement amplitude (4 mm).

Fig. 3 - Area and length measurement by using Image J software: BioRaCe BR0 (a), HyFlex CM 1 (b), ProFile OS #2 (c) and ProTaper Sx (d).

Fig. 4 - General comparison between instruments against dentin blocks (A) and acrylic blocks (B). Different small letters indicate statistically significant difference according to Bonferroni test ($P < 0.05$).

Fig. 5 - Mean values of area and length at 250 and 500 rpm, against dentin (A) and acrylic (B). Asterisk (*) indicates statistically significant difference between those two rotational speeds according to unpaired t-test ($P < 0.05$).

Fig. 6 - Mean values of area and length for notches 1&2 and 4&5 against dentin (A) and acrylic (B). Asterisk (*) indicates statistically significant difference according to paired t-test ($P < 0.05$).

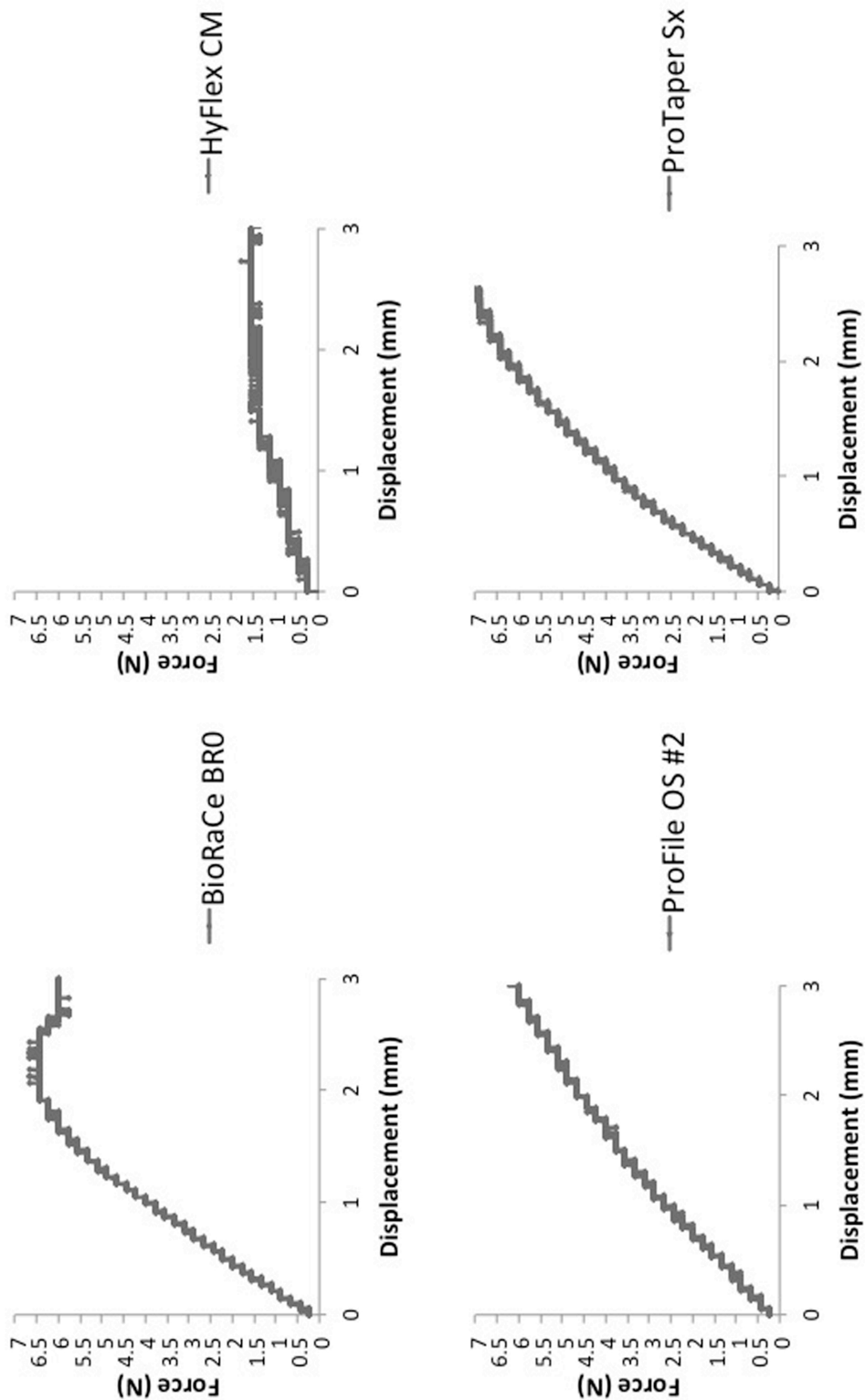


Fig. 1

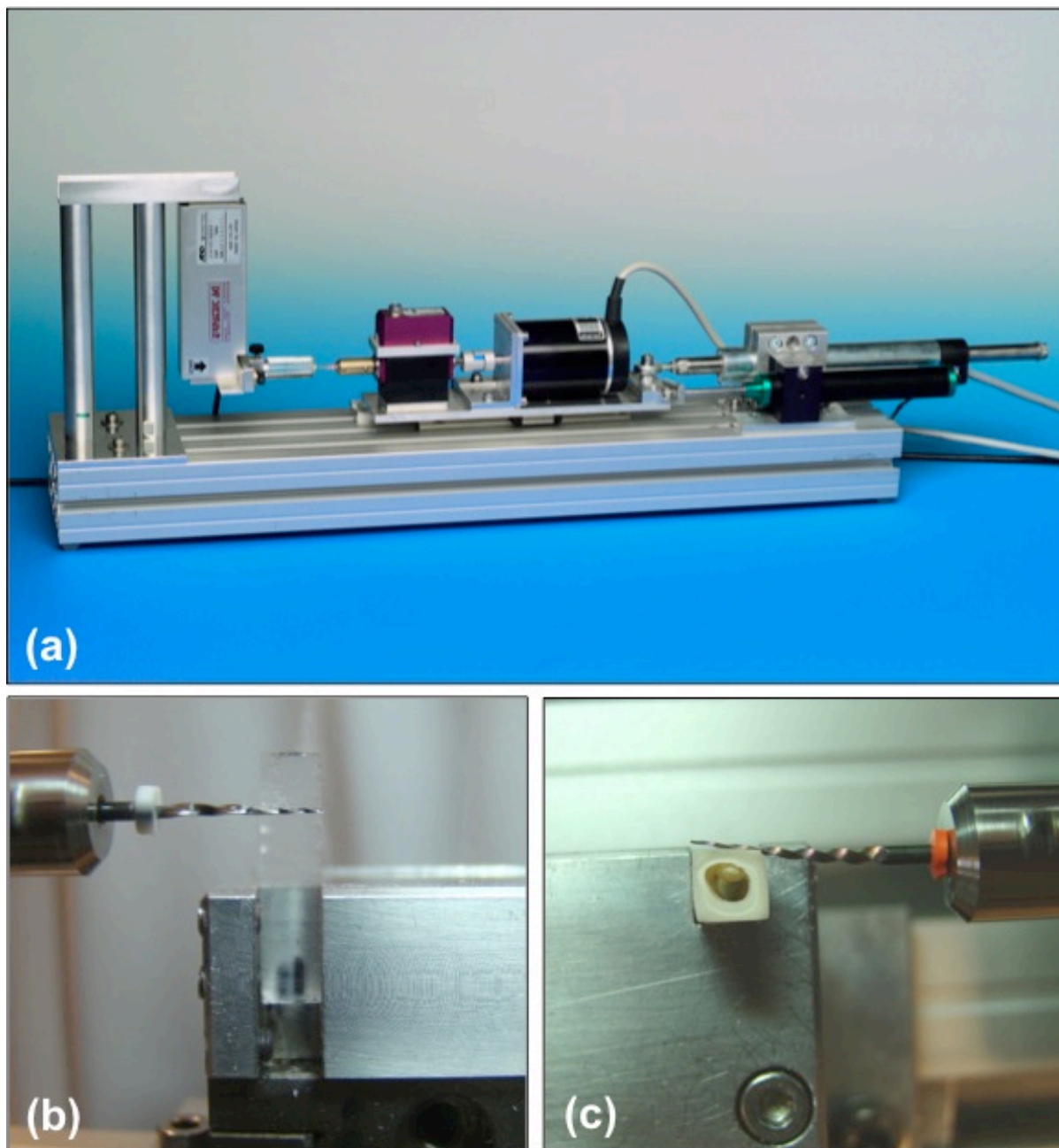


Fig. 2

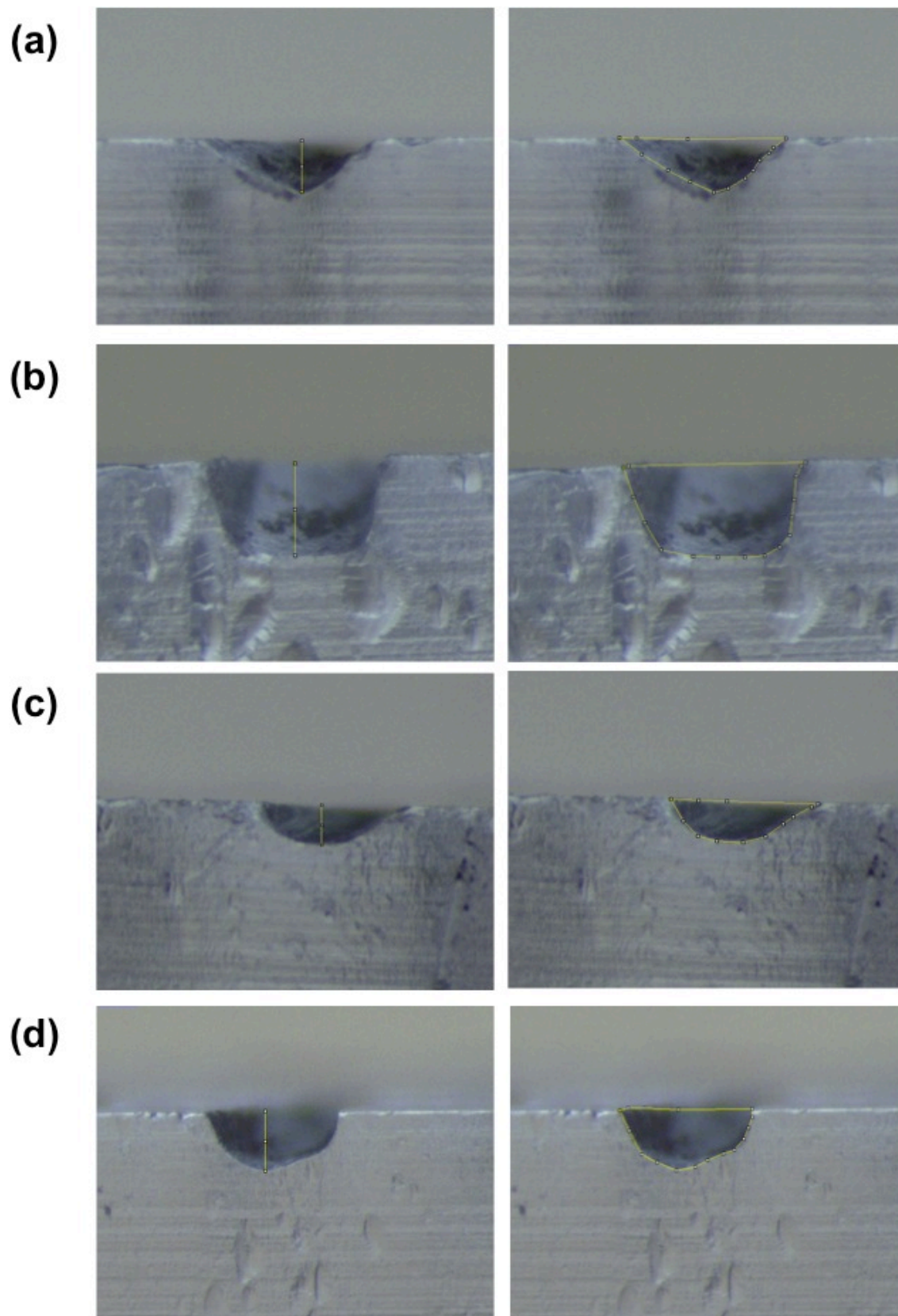


Fig. 3

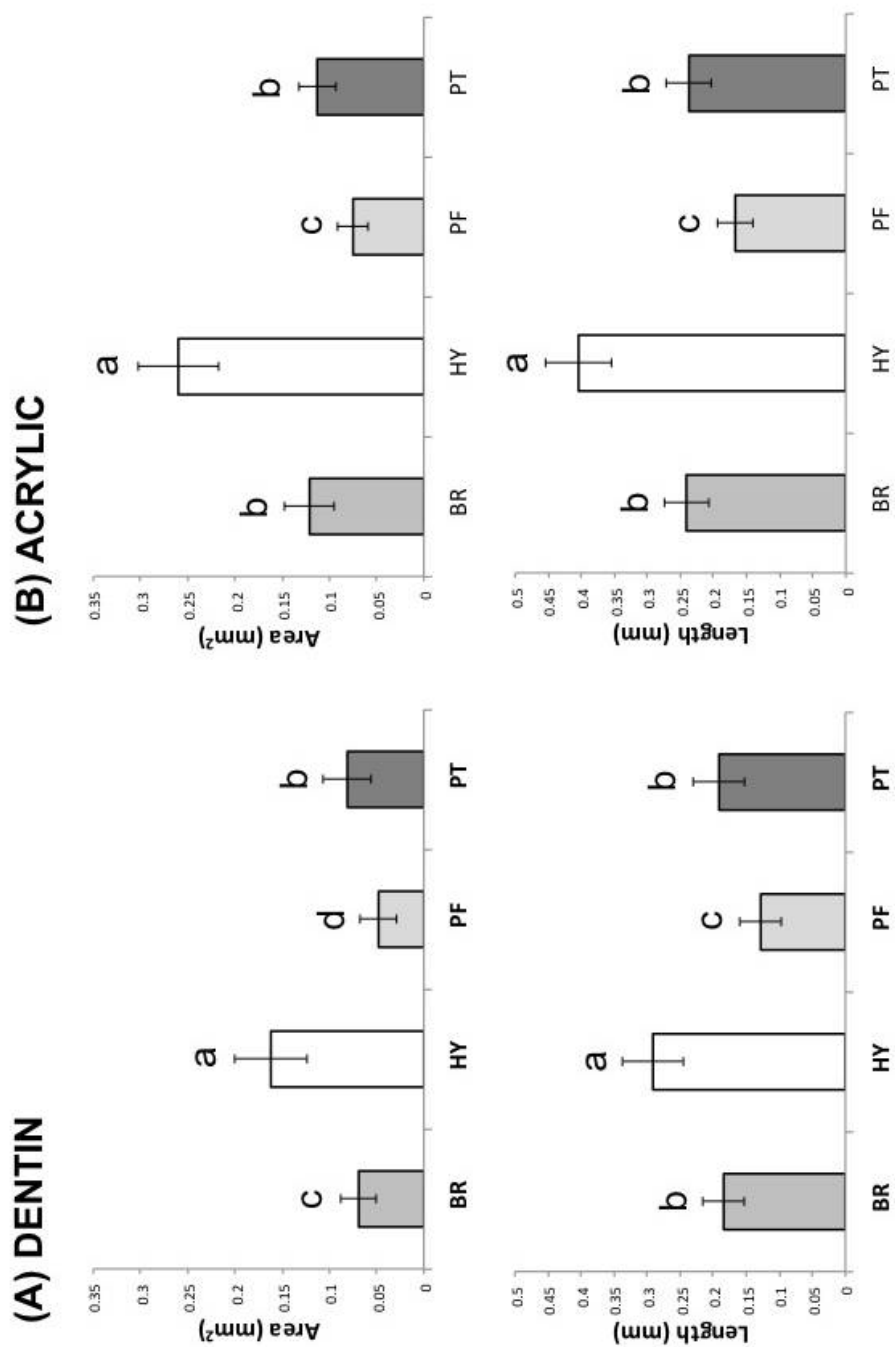


Fig. 4

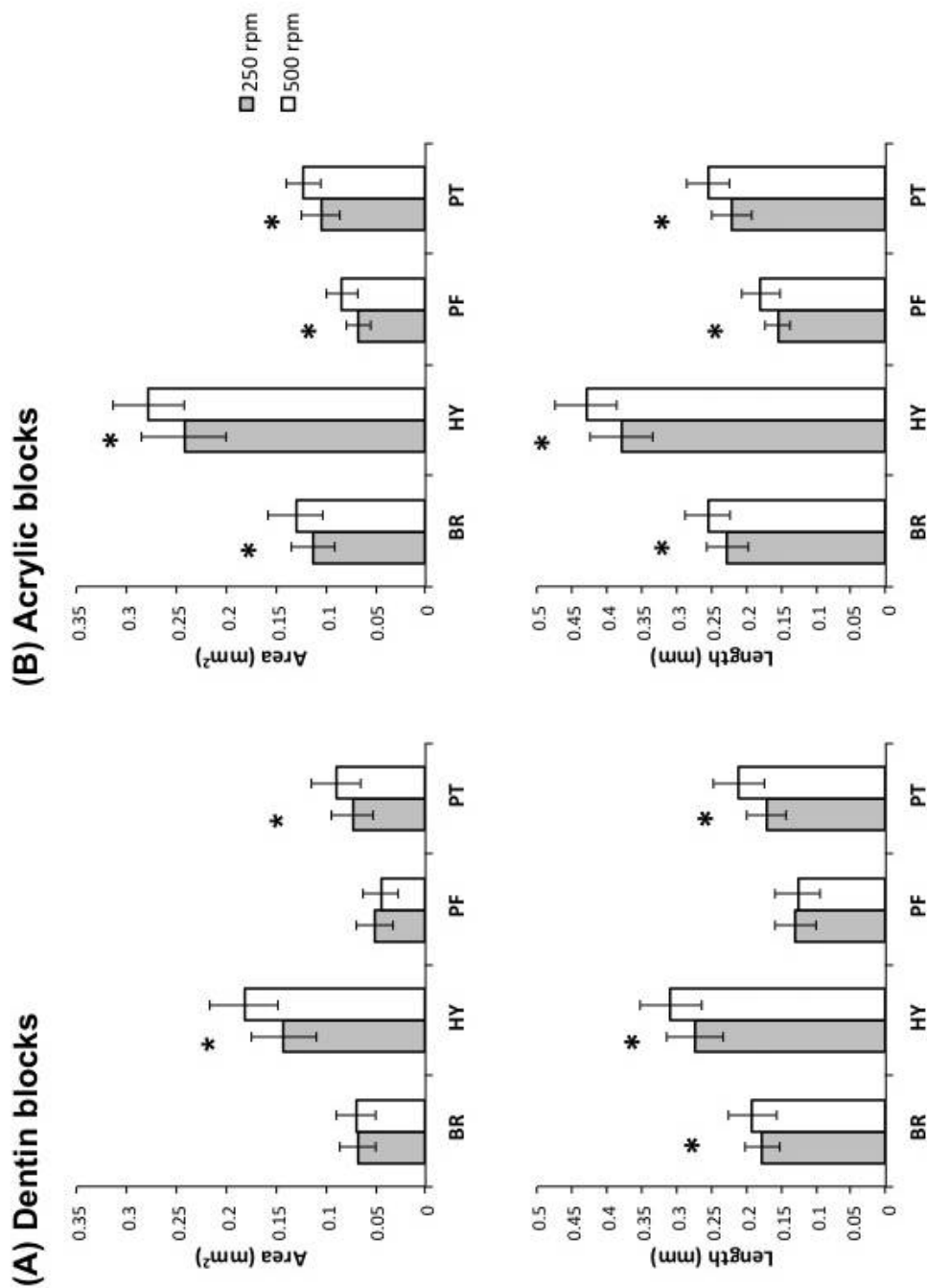


Fig. 5

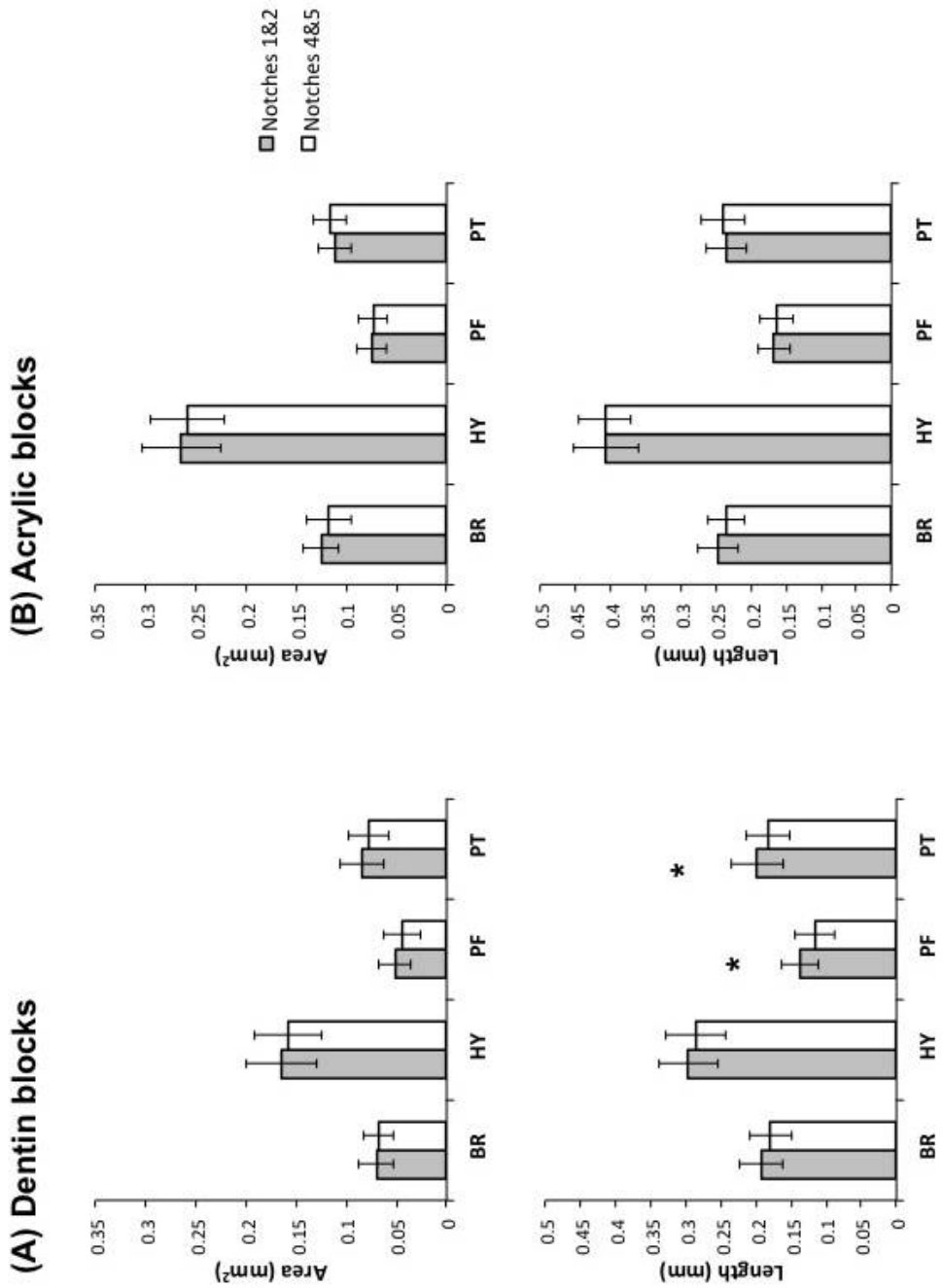


Fig. 6

3. CAPÍTULO II

Artigo 2

Influence of rotational speed and number of uses on the cutting efficiency of HyFlex CM and three conventional nickel-titanium rotary instruments

Formatado conforme diretrizes do periódico *Journal of Endodontics*, Qualis A1 e

Fator de impacto 2.880

Influence of rotational speed and number of uses on the cutting efficiency of HyFlex CM and three conventional nickel-titanium rotary instruments

Renata Dornelles Morgental¹, Peters OA², Paqué F³, Figueiredo JAP¹, Kopper PMP⁴, Vier-Pelisser FV¹.

1 – Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil

2 – University of the Pacific, San Francisco, USA

3 – University of Zurich, Zurich, Switzerland

4 – Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil

Corresponding author:

Renata Dornelles Morgental / Fabiana Vieira Vier-Pelisser

Graduate Program in Dentistry

Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul – PUCRS

Av. Ipiranga 6681, Prédio 6

CEP 90619-900

Porto Alegre – RS – Brazil

Phone: 55 51 3320 3562

Email: remorgental@hotmail.com / endopelisser@gmail.com

ACKNOWLEDGMENTS

Renata Dornelles Morgental was supported by MEC/CAPES (Brazilian Federal Agency for Support and Evaluation of Graduate Education) as an exchange scholarship.

ABSTRACT

Introduction: This study aimed to evaluate the influence of rotational speed and number of uses on the cutting efficiency of four nickel-titanium coronal flaring instruments, as well as to investigate possible defects on their surface. **Methods:** BioRaCe BR0 (BR), HyFlex CM 1 (HY), ProFile OS #2 (PF) and ProTaper Sx (PT) were submitted to a cutting efficiency test, in which they worked against bovine dentin blocks at 250 and 500 rpm up to five times. Cutting efficiency was assessed by two parameters: maximum cutting depth, assessed by profilometry, and volume of extracted dentin, measured by microcomputed tomography. Surface defects before and after use were investigated under scanning electron microscopy. **Results:** For both parameters, HY and PF had the highest and lowest values, respectively ($P < 0.05$). Maximum cutting depth at 250 rpm was significantly lower than at 500 rpm for BR, HY and PT. Regarding volume, significant difference between 250 and 500 rpm was detected for BR and HY. The first notches (1&2) showed significantly higher values than the last ones (4&5) for BR and PT (depth) and for BR, HY and PT (volume). There was a positive correlation between depth and volume. As to surface defects, all instruments had machining marks but they were less prominent in BR. Blunt and disrupted cutting edges were frequent after use. **Conclusions:** HY was the most efficient instrument. An increase in rotational speed allowed better cutting efficiency while repeated use reduced cutting ability. All brands showed surface defects after use but no major signs of deformation.

Keywords: controlled memory, coronal flaring, cutting efficiency, nickel-titanium instruments.

Introduction

The predictable and efficient use of motor driven rotary instruments was made possible by the introduction of nickel-titanium (NiTi) alloy in endodontics (1). Their use has improved the root canal treatment by reducing operator fatigue and time for chemomechanical preparation, as well as minimizing procedural errors associated with hand instrumentation (2).

Several different brands of NiTi rotary instruments are available on the current market and most of them advocate a crown-down approach. The so-called coronal flaring procedure facilitates direct access into the middle and sometimes even into the apical canal third. It promotes access of irrigants and allows rotary instruments to prepare the apical portion with less wall contact and hence friction (3). Coronal flaring instruments should act laterally, avoiding the 'danger zone' described by Abou-Rass et al. (4).

HyFlex CM (Coltene, Cuyahoga Falls, OH, USA) is a novel rotary system made from a controlled memory wire (CM-wire). The manufacturer claims that this heat-treated alloy has superior flexibility and fatigue resistance in comparison to conventional NiTi rotary instruments made from superelastic wire. Few recent studies have confirmed these improved properties (5-6). However, there is a lack of scientific research related to their cutting efficiency. Moreover, it is uncertain if the rotational speed and the number of uses would interfere with their cutting behavior.

Cutting action is the basic functional property of endodontic instruments (7). It allows the removal of infected dentin and provides a funnel-shaped canal (8), which makes the filling procedure easier. So far, there is no consensus in the endodontic literature regarding the definition of cutting efficiency and the most appropriate experimental model for its analysis. Weight loss (9-12) has been employed over the

years but it is not a sensitive method to evaluate the cutting behavior of some NiTi instruments (13). Alternative methodologies such as profilometry (7, 14) and microcomputed tomography (13) seem to be more accurate.

Therefore, the aim of this study was to evaluate the influence of rotational speed and number of uses on the cutting efficiency of four nickel-titanium rotary instruments used for coronal flaring by profilometry and microcomputed tomography. Also, it aimed to investigate, by scanning electron microscopy (SEM), surface defects on these instruments after repeated use.

Material and methods

This study was approved by Dental School Science and Ethics Commission of Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul (protocol number 056/11) (Anexo A).

Preparation of bovine dentin blocks

Bovine dentin was selected as testing substrate. Twenty extracted bovine incisors were used to produce dentin blocks with 20 mm height and 5 x 5 mm base. Teeth were obtained from animals aged approximately two years old and slaughtered for commercial purposes. They were cleaned and stored in 0.1% thymol solution at 5°C until ready to use (15). Dentine blocks were made using a double-sided diamond disc mounted on a cutting machine (Techcut 4 - Allied High Tech Products Inc, Rancho Dominguez, CA) in order to fit the testing platform described subsequently.

Cutting efficiency test

Eighty instruments of different commercial brands were investigated: ProTaper Sx (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, USA), ProFile Orifice Shapers #2 (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, USA), BioRaCe BR0 (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Switzerland) and HyFlex CM 1 (Coltene, Cuyahoga Falls, OH, USA). These instruments were used at two different rotational speeds: 250 and 500 rpm. Thus, a total of 8 experimental groups were evaluated (n=10). Those four different brands were used in the different sides of the same dentin block.

To assess cutting efficiency, blocks were engaged in a computer-controlled testing platform that has been described in details previously (16-17). It has a designed holder (5 x 5 mm base), a torque sensor and motors to drive the instruments in linear and rotational motion. A program called ENDOTEST was especially developed to control the whole unit, running on a Macintosh Power PC computer (Apple Inc., Cupertino, CA, USA).

The instruments were placed in contact with dentin blocks at 5 mm from their tip and then run for 60 seconds in lateral action, with axial movements and amplitude of 4 mm. Torque was established at 5 N.com. The applied load for each instrument was calculated in preliminary tests performed by a Model 1011 Universal Testing Machine (Instron Corp, Canton, MA). Also, each instrument was used five times, under the conditions described above, thus producing five notches on each side of the block.

Profilometry

The first parameter to assess cutting efficiency was the maximum cutting depth measured by a profilometer (Talysurf - Taylor-Hobson Ltd., Leicester, UK). Those twenty dentin blocks were evaluated and the depth was given in micrometers (μm) for each notch, corresponding to each subsequent use (up to five) (Apêndice B).

Microcomputed tomography

The volume of extracted dentin (mm^3) was recorded as the second parameter to assess cutting efficiency. A microcomputed tomography system (Scanco $\mu\text{CT}40$ - Scanco Medical, Zurich, Switzerland) was used to scan half of the specimens (10 dentin blocks) before and after producing the notches. A voxel size of $30 \times 30 \times 30 \mu\text{m}$ was employed and three-dimensional surface models were reconstructed. Models obtained before and after the cutting test (Apêndice C) were superimposed and the volume of extracted dentin was calculated by VG Studio MAX 2.2 software (Volume Graphics, Stuttgart, Germany). The operator was blind in relation to the experimental groups at the time of all analysis.

Scanning electron microscopy

Six instruments of each brand ($n=24$) were examined under SEM, including three instruments of each rotational speed, before the first and after the fifth use. They underwent a cleaning procedure, with scrubbing and then ultrasonic bath for 10 minutes inside small recipients containing ethanol. None of the instruments were autoclaved. They were fixed on special holders with double-sided carbon and

examined under a scanning electron microscope Philips XL 30 (Philips, Eindhoven, Netherlands) at 20 kV.

Five images were obtained from each instrument. One image from the tip to 5 mm (40x) and four images at 5 mm (50x, 100x, 200x, 1600x) in order to analyze the portion of the shaft that contacts the dentin block, simulating the coronal flaring procedure. Photomicrographs taken from both unused and used instruments were evaluated regarding the presence of surface defects especially on their cutting edges. The frequency of machining marks, blunt and disrupted cutting edges was recorded (12, 18).

Statistical analysis

Results for each parameter (maximum cutting depth and volume of extracted dentin) were analyzed by ANOVA and Bonferroni post-hoc test. Unpaired t-test was applied to compare the results obtained at 250 and 500 rpm. Additionally, depth and volume from first and second (1&2) and fourth and fifth (4&5) notches were binned together and analyzed by paired t-test. Pearson correlation coefficients were calculated between the results obtained by profilometry and microcomputed tomography. P-values <0.05 were considered significant.

Results

Figure 1 shows general data for maximum cutting depth and volume of extracted dentin. HY had the highest values of depth, followed by PT, BR and PF (P<0.05). HY also had the highest values of volume, followed by PT, BR and PF, but no significant difference was detected between BR and PF (P>0.05).

Data obtained at two different rotational speeds were compared in Figure 2A and 2B. Maximum cutting depth at 250 rpm was significantly lower than at 500 rpm for BR, HY and PT ($P < 0.05$). Regarding extracted volume, values at 250 rpm were significantly lower than those obtained at 500 rpm for BR and HY ($P < 0.05$).

Values measured in the first notches (1&2) were higher than in the last ones (4&5) for all brands, as shown in Figure 2C and 2D. Significant difference was detected for BR and PT (depth) and for BR, HY and PT (volume).

Positive correlation coefficients were detected between maximum cutting depth and volume of extracted dentin in BR, HY, PF and PT ($r = 0.80, 0.89, 0.92, 0.75$, respectively; $P < 0.0001$).

In regard to SEM analysis, none of the instruments showed major deformation or fracture. All instruments presented machining marks before and after use but those defects were more prominent in PF instruments. For BR, machining marks were very slight and visible only in higher magnification (100x). Blunt or disrupted cutting edges were detected in all four commercial brands and more commonly after use (Figure 3A-D). The frequencies of surface defects in unused and used instruments are presented in Figure 3E.

Discussion

The present study used two different devices to assess the cutting efficiency of NiTi rotary instruments. Profilometers have been extensively used to investigate surface topography of teeth and dental materials (19-21). Also, profilometry has already been used to assess the cutting efficiency of endodontic instruments (7, 14). Microcomputed tomography has emerged as a powerful tool for three-dimensional evaluation of root canal morphology and effects that instruments exert on anatomy

(2). In this experimental model, a 2D profilometer was employed to assess maximum cutting depth and 3D micro-computed tomography allowed the evaluation of volume of removed dentin. Measuring the amount of material extracted in a specific time is a reasonable way to assess cutting efficiency.

The methodology proposed here allows the evaluation of endodontic instruments in lateral action. It is particularly useful for investigating coronal flaring instruments that are used in brushing motion against the root canal wall opposite to the furcation area, the so-called 'danger zone' (4). As to the substrate, bovine dentin was used for operational reasons. The testing platform has a specific holder and bovine teeth were better than human teeth to confection dentin blocks with proper size. Second, it was possible to obtain samples of similar age and dentin characteristics, making it possible to distribute the teeth from the same animal in several experimental groups. Moreover, similarity between the physical properties of bovine and human dentin has been pointed out (22).

The cutting ability of endodontic instruments is a complex interrelationship of different factors such as cross-sectional design, chip removal capacity, helical and rake angles, metallurgical properties and surface treatments (23-24). In this research, HY was the most efficient preflaring instrument, as it had the highest values of maximum cutting depth and extracted volume. This improved result is probably a function of the alloy treatment. CM-wire has been developed to improve cyclic fatigue resistance (5-6) and its effect on the cutting efficiency has not been evaluated so far.

PF instruments displayed the least cutting efficiency, which can be explained by their neutral cutting angles and radial-landed design (13). In terms of canal cleanliness, instruments with active cutting blades also displayed better results than

files with radial lands (25). It is assumed that radial lands tend to burnish the cut dentin onto the root canal wall or even to push debris inside the dentinal tubules, whereas active cutting edges seem to remove dentin chips and pulp remnants (24, 26).

The rotational speed at which NiTi rotaries should be driven is a variable that remains to be clarified. Ideally, rotary instruments should be used at a rate that minimizes the incidence of fracture while maintaining efficiency (27). According to our findings, cutting efficiency at 500 rpm was greater than at 250 rpm for most of the instruments. Reasons exist to keep speed with NiTi instruments low (eg, below 300 rpm) including longer time to fatigue failure (28) and less incidence of taper lock (29). However, the manufacturer recommends that HY should be used at 500 rpm. We may say that the heat-treated NiTi alloy (CM-wire), with its extended fatigue resistance (6, 30-31) would be particularly suited for higher rpm settings.

Depth and volume measured in the first notches (1&2) were higher than in the last ones (4&5), even though significant difference was not detected for all instruments. Still, these results led to the conclusion that cutting ability decreases with repeated use. Instruments worked for 60 seconds each time, an extended period, in order to obtain measurable notches, so cutting efficiency loss is not surprising. Blunt edges were observed under SEM in many instruments after the fifth use. Thus, decrease in sharpness could justify the cutting efficiency loss, which has been previously observed for stainless steel files (32). Also, a few instruments presented disrupted edges that could also impair the cutting action.

In conclusion, under the present experimental conditions, HY was more efficient than BR, PF and PT. An rpm increase from 250 to 500 provided better cutting efficiency for coronal flaring instruments. Also, the repeated use led to

reduced efficiency. Results from maximum cutting depth and volume of extracted dentin were positively correlated, thus both methods are suitable for evaluating the cutting ability of NiTi rotary instruments. All four commercial brands had surface defects after use especially blunt cutting edges.

References

1. Walia HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod* 1988;14:346-51.
2. Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod* 2004;30:559-67.
3. Peters OA, Paque F. Current developments in rotary root canal instrument technology and clinical use: a review. *Quintessence Int* 2010;41:479-88.
4. Abou-Rass M, Frank AL, Glick DH. The anticurvature filing method to prepare the curved root canal. *J Am Dent Assoc* 1980;101:792-4.
5. Testarelli L, Plotino G, Al-Sudani D, Vincenzi V, Giansiracusa A, Grande NM, et al. Bending properties of a new nickel-titanium alloy with a lower percent by weight of nickel. *J Endod* 2011;37:1293-5.
6. Peters OA, Gluskin AK, Weiss RA, Han JT. An in vitro assessment of the physical properties of novel Hyflex nickel-titanium rotary instruments. *Int Endod J* 2012.
7. Yguel-Henry S, von Stebut J. Cutting efficiency loss of root canal instruments due to bulk plastic deformation, surface damage, and wear. *J Endod* 1994;20:367-72.
8. Haapasalo M UT, Endal U. Persistent, recurrent and acquired infection of the root canal system post-treatment. *Endod Topics* 2003;6:29-56.
9. Webber J, Moser JB, Heuer MA. A method to determine the cutting efficiency of root canal instruments in linear motion. *J Endod* 1980;6:829-34.

10. Miserendino LJ, Brantley WA, Walia HD, Gerstein H. Cutting efficiency of endodontic hand instruments. Part 4. Comparison of hybrid and traditional instrument designs. *J Endod* 1988;14:451-4.
11. Rapisarda E, Bonaccorso A, Tripi TR, Fragalk I, Condorelli GG. The effect of surface treatments of nickel-titanium files on wear and cutting efficiency. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000;89:363-8.
12. Vinothkumar TS, Miglani R, Lakshminarayanan L. Influence of deep dry cryogenic treatment on cutting efficiency and wear resistance of nickel-titanium rotary endodontic instruments. *J Endod* 2007;33:1355-8.
13. Shen Y, Haapasalo M. Three-dimensional analysis of cutting behavior of nickel-titanium rotary instruments by microcomputed tomography. *J Endod* 2008;34:606-10.
14. Yguel-Henry S, Vannesson H, von Stebut J. High precision, simulated cutting efficiency measurement of endodontic root canal instruments: influence of file configuration and lubrication. *J Endod* 1990;16:418-22.
15. Peters OA, Boessler C, Zehnder M. Effect of liquid and paste-type lubricants on torque values during simulated rotary root canal instrumentation. *Int Endod J* 2005;38:223-9.
16. Ullmann CJ, Peters OA. Effect of cyclic fatigue on static fracture loads in ProTaper nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2005;31:183-6.
17. Peters OA, Barbakow F. Dynamic torque and apical forces of ProFile.04 rotary instruments during preparation of curved canals. *Int Endod J* 2002;35:379-89.
18. Tripi TR, Bonaccorso A, Tripi V, Condorelli GG, Rapisarda E. Defects in GT rotary instruments after use: an SEM study. *J Endod* 2001;27:782-5.

19. Smith JB, Loushine RJ, Weller RN, Rueggeberg FA, Whitford GM, Pashley DH, et al. Metrologic evaluation of the surface of white MTA after the use of two endodontic irrigants. *J Endod* 2007;33:463-7.
20. Wiegand A, Kuhn M, Sener B, Roos M, Attin T. Abrasion of eroded dentin caused by toothpaste slurries of different abrasivity and toothbrushes of different filament diameter. *J Dent* 2009;37:480-84.
21. Endo T, Finger WJ, Kanehira M, Utterodt A, Komatsu M. Surface texture and roughness of polished nanofill and nanohybrid resin composites. *Dent Mater J* 2010;29:213-23.
22. Schilke R, Bauss O, Lisson JA, Schuckar M, Geurtsen W. Bovine dentin as a substitute for human dentin in shear bond strength measurements. *Am J Dent* 1999;12:92-6.
23. Schafer E, Lau R. Comparison of cutting efficiency and instrumentation of curved canals with nickel-titanium and stainless-steel instruments. *J Endod* 1999;25:427-30.
24. Schafer E, Oitzinger M. Cutting efficiency of five different types of rotary nickel-titanium instruments. *J Endod* 2008;34:198-200.
25. Jeon IS, Spangberg LS, Yoon TC, Kazemi RB, Kum KY. Smear layer production by 3 rotary reamers with different cutting blade designs in straight root canals: a scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003;96:601-7.
26. Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P. Mechanical root canal preparation with NiTi rotary instruments: rationale, performance and safety. Status report for the American Journal of Dentistry. *Am J Dent* 2001;14:324-33.

27. Daugherty DW, Gound TG, Comer TL. Comparison of fracture rate, deformation rate, and efficiency between rotary endodontic instruments driven at 150 rpm and 350 rpm. *J Endod* 2001;27:93-5.
28. Lopes HP, Ferreira AA, Elias CN, Moreira EJ, de Oliveira JC, Siqueira JF, Jr. Influence of rotational speed on the cyclic fatigue of rotary nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod* 2009;35:1013-6.
29. Yared GM, Bou Dagher FE, Machtou P. Influence of rotational speed, torque and operator's proficiency on ProFile failures. *Int Endod J* 2001;34:47-53.
30. Shen Y, Qian W, Abtin H, Gao Y, Haapasalo M. Fatigue testing of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2011;37:997-1001.
31. Shen Y, Qian W, Abtin H, Gao Y, Haapasalo M. Effect of environment on fatigue failure of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2012;38:376-80.
32. Morrison SW, Newton CW, Brown CE, Jr. The effects of steam sterilization and usage on cutting efficiency of endodontic instruments. *J Endod* 1989;15:427-31.

List of Figures:

Figure 1. Maximum cutting depth (A) and extracted volume (B) obtained with four brands of coronal flaring instruments. Different small letters indicate statistically significant difference according to Bonferroni test ($P < 0.05$).

Figure 2. Bar diagrams of maximum cutting depth and extracted volume for two different rotational speeds (A and B) and for notches 1&2 and 4&5 (C and D). Asterisk (*) indicates statistically significant difference ($P < 0.05$).

Figure 3. Used instruments at 100x magnification: BioRaCe BR 1 (A), HyFlex CM 1 (B), ProFile OS #2 (C) and ProTaper Sx (D). Blunt cutting edges (#) and disrupted cutting edges (*) were detected. Frequencies of surface defects for unused and used instruments (E).

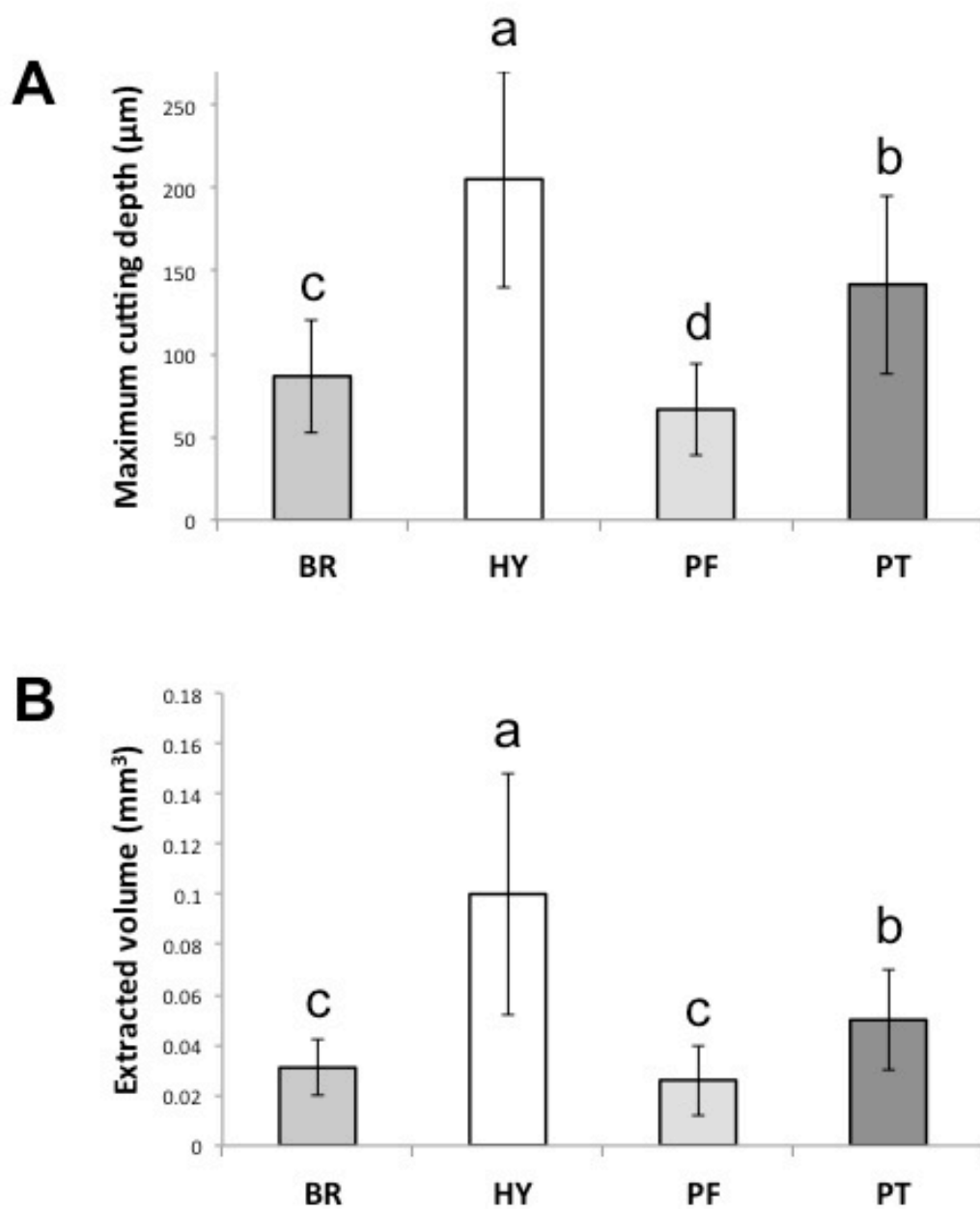


Figure 1

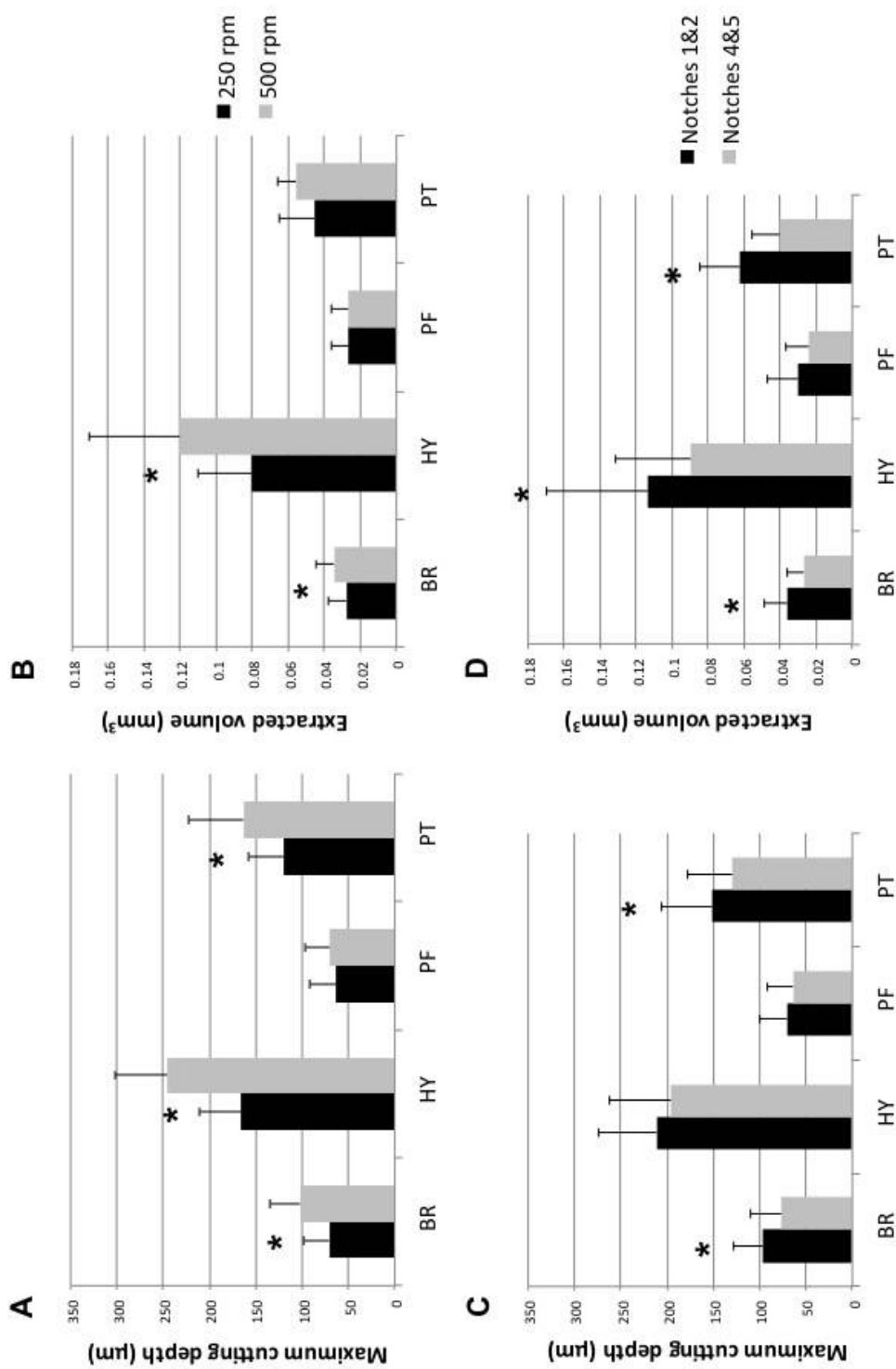
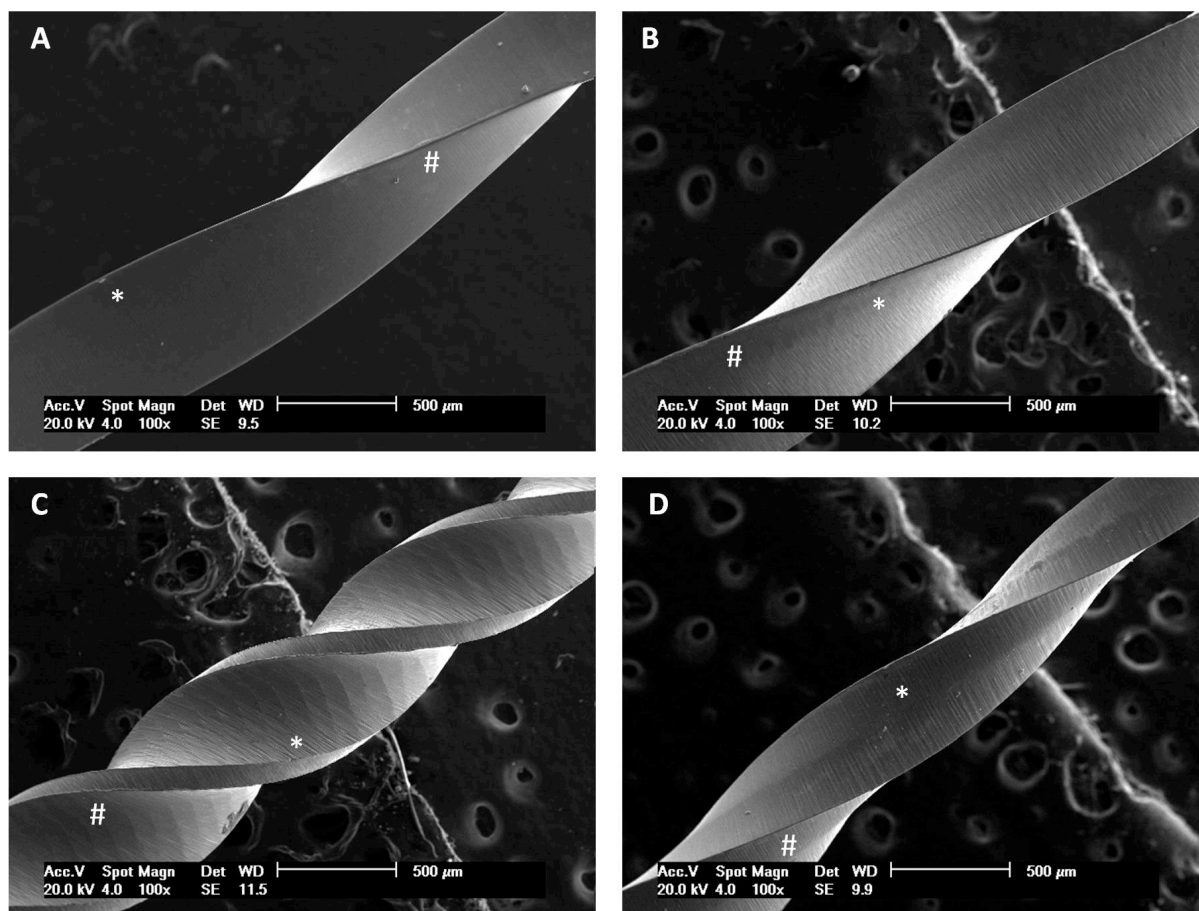


Figure 2



E

| Surface defects | BioRaCe BR0 | | HyFlex CM 1 | | ProFile OS #2 | | ProTaper Sx | |
|-------------------------|-------------|------|-------------|------|---------------|------|-------------|------|
| | Unused | Used | Unused | Used | Unused | Used | Unused | Used |
| Machining marks | 6/6 | 6/6 | 6/6 | 6/6 | 6/6 | 6/6 | 6/6 | 6/6 |
| Blunt cutting edges | 0/6 | 4/6 | 3/6 | 6/6 | 4/6 | 6/6 | 3/6 | 5/6 |
| Disrupted cutting edges | 0/6 | 1/6 | 2/6 | 2/6 | 0/6 | 2/6 | 0/6 | 1/6 |

Figure 3

4. DISCUSSÃO

O importante papel do instrumento endodôntico nos processos de limpeza e modelagem do sistema de canais radiculares já foi plenamente reconhecido (PETERS, 2004). Nas últimas décadas, após o advento da liga de níquel-titânio, as indústrias odontológicas têm investido fortemente no desenvolvimento de novos instrumentos. A maioria dos sistemas rotatórios de níquel-titânio disponíveis no mercado preconiza uma abordagem no sentido coroa-ápice (*crown-down*). O procedimento de alargamento cervical vem se mostrando imprescindível para uma correta modelagem em canais radiculares curvos (SOARES & GOLDBERG, 2001).

O instrumento utilizado no alargamento cervical deve cortar dentina de forma eficiente, para proporcionar um acesso retilíneo e direto às porções média e apical do canal radicular. Dessa forma, houve o interesse em avaliar a eficiência de corte de diferentes marcas de instrumentos rotatórios de níquel-titânio para alargamento cervical. Tal propriedade foi investigada utilizando três metodologias distintas. Ao analisar os capítulos 1 e 2 deste trabalho, pode-se perceber que os resultados obtidos com o novo método, utilizando estereomicroscópio e mensuração de imagens, foram semelhantes aos resultados obtidos com perfilometria e microtomografia computadorizada, dois métodos já consagrados na literatura (YGUEL-HENRY, VANNESSON & VON STEBUT, 1990; YGUEL-HENRY & VON STEBUT, 1994; SHEN & HAAPASALO, 2008), porém de custo mais elevado. Sendo assim, o novo método se mostrou uma forma simples e adequada para investigar eficiência de corte.

Além disso, a escolha de um substrato apropriado é essencial. Dentina bovina foi utilizada em substituição à dentina humana, considerando a semelhança

desses dois tecidos (SCHILKE *et al.*, 1999; SCHILKE *et al.*, 2000; CAMARGO, MARQUES & CARA, 2008; CASTANHO, *et al.*, 2011) e os fatores éticos envolvidos. Porém, pela facilidade de obtenção e homogeneidade das amostras, blocos acrílicos e plásticos têm sido extensivamente utilizados na avaliação da eficiência de corte de instrumentos endodônticos (RAPISARDA *et al.*, 2000; SCHÄFER, 2002a; SCHÄFER, 2002b; SCHÄFER & OITZINGER, 2008; BUI, MITCHELL & BAUMGARTNER, 2008), por isso tal substrato também foi avaliado.

Para padronizar a força aplicada no teste de eficiência de corte, foram necessários testes preliminares em uma máquina de ensaios universal. Uma força compressiva foi utilizada para flexionar cada instrumento a 5 mm de sua ponta. A seguir, obteve-se um gráfico correlacionando a força aplicada (N) e o deslocamento sofrido pelo instrumento (mm). Conforme PETERS & PAQUÉ (2010), é difícil determinar a força exata aplicada na prática clínica, porém experimentos sugerem que ela varia de 1 a 5 N. Desta forma, foi calculado o deslocamento de cada instrumento em relação ao bloco de dentina ou acrílico para que a força fosse padronizada em 2.5 N. Apenas para HY, foi utilizada uma força de 1.25 N, uma vez que este instrumento apresentou um comportamento mecânico diferente dos demais.

No primeiro capítulo, observou-se uma forte correlação entre os resultados obtidos em acrílico e dentina, apesar de terem sido encontrados valores maiores nos blocos acrílicos. Porém, ao analisar o número de usos, houve uma tendência de perda de eficiência de corte em dentina bovina e o mesmo não foi observado em acrílico. Estes achados concordam com os de KAZEMI *et al.* (1996). Tal pesquisa constatou que instrumentos de níquel-titânio são continuamente danificados quando trabalham em dentina humana, perdendo sua capacidade de corte. O mesmo não

foi observado em acrílico (plexiglas). Neste contexto, é importante ressaltar que, no segundo capítulo do presente trabalho, parte dos instrumentos que trabalharam em dentina bovina foi observada em MEV e muitos apresentavam bordos cortantes arredondados ou mesmo interrompidos, com perda de material.

Com relação às marcas comerciais avaliadas, houve interesse em incluir os instrumentos HyFlex CM por representarem uma novidade no mercado e serem confeccionados com uma nova liga de níquel-titânio com controle de memória (*CM-wire*), a qual passa por um tratamento termomecânico. Dois estudos recentemente publicados (TESTARELLI *et al.*, 2011; PETERS *et al.*, 2012) confirmaram as reivindicações do fabricante, de que os mesmos apresentam flexibilidade e resistência à fadiga aumentadas. Nosso trabalho demonstrou que tais instrumentos também possuem elevada capacidade de corte. Nas três metodologias empregadas, o HyFlex CM foi significativamente superior aos demais instrumentos avaliados. Tais resultados não podem ser comparados com outras pesquisas científicas, uma vez que ainda não existem dados a este respeito.

O HyFlex CM apresenta secção transversal triangular, semelhante aos instrumentos BioRaCe e ProTaper, portanto tal superioridade provavelmente esteja relacionada ao tratamento da liga. Uma possível razão seria o aumento na dureza de superfície, o que não foi avaliado neste trabalho e ainda necessita comprovação. Outra explicação poderia estar relacionada a uma maior capacidade de coletar raspas de dentina, o que precisa ser confirmado por pesquisas que avaliem as características das canaletas helicoidais e demais peculiaridades geométricas deste novo sistema.

Os instrumentos ProFile têm sido amplamente pesquisados ao longo dos anos e, segundo LLOYD (2005), deveriam servir como padrão de comparação para

novos instrumentos rotatórios de níquel-titânio. De acordo com nossos achados, os instrumentos ProFile Orifice Shaper foram os menos eficientes em ação lateral nos três métodos empregados. Aqui foi utilizado o tamanho #2 (30/.06), por ser o que mais se aproxima, em 5 mm da ponta, aos demais instrumentos avaliados (25/.08). Sua secção transversal em forma de U, com presença de guias radiais, apesar de favorecer a segurança do instrumento, mantendo o mesmo centrado no interior do canal, prejudica sua capacidade de corte, o que também foi observado em pesquisas anteriores (SCHÄFER & OITZINGER, 2008; SHEN & HAAPASALO, 2008).

Os instrumentos ProTaper e BioRaCe apresentaram resultados intermediários e semelhantes entre si. Ambos são instrumentos de secção transversal triangular e sem guia radial. Assim, a concordância entre seus resultados pode estar relacionada à semelhança dos designs desses instrumentos.

A velocidade a ser utilizada com instrumentos rotatórios de níquel-titânio é um tópico que ainda não foi totalmente esclarecido. Muitas vezes seguimos a recomendação do fabricante sem questionar. Existem razões para manter a velocidade baixa, incluindo um tempo mais longo de vida em fadiga (LOPES *et al.*, 2009) e menor incidência de travamento (*taper lock*) e fratura (YARED *et al.*, 2001). Porém, necessitamos instrumentos que cortem eficientemente. No presente trabalho, a eficiência de corte com 500 rpm foi melhor do que com 250 rpm para a maior parte dos instrumentos avaliados. Isso não nos surpreende, mas precisa ser confirmado por outras pesquisas que abordem este tema. O ProFile Orifice Shaper foi uma exceção. Ele se mostrou o instrumento menos eficiente e mesmo aumentando sua velocidade, não houve melhora significativa na capacidade de cortar acrílico ou dentina.

Os fabricantes recomendam velocidades na faixa de 150-300 rpm para ProFile, 250-350 rpm para ProTaper, 500 rpm para HyFlex CM e 500-600 rpm para BioRaCe. Como exposto anteriormente, o aumento da velocidade para 500 rpm não foi vantajoso para ProFile, mas o foi para ProTaper. Seria necessário avaliar, para os instrumentos BioRaCe e HyFlex CM, se uma velocidade acima de 500 rpm, que já é a recomendada, iria aumentar a eficiência de corte. Este último já mostrou possuir uma vida em fadiga prolongada (PETERS *et al.*, 2012), o que foi observado com outra marca comercial (Typhoon, Clinician's Choice Dental Products, Milford, CT, USA), que também utiliza o *CM-wire* (SHEN *et al.*, 2011 a, b). Portanto, o uso de velocidades elevadas não parece comprometer a segurança de uso do HyFlex CM.

Quanto maior o número de usos de um instrumento com eficiência, melhor será o custo/benefício, tanto para o profissional quanto para o paciente. Isso, entretanto, sem perder a qualidade do preparo e a segurança durante a utilização. Nossos resultados demonstraram uma tendência de perda da eficiência de corte com o uso repetido em dentina, mas isso não foi significativo para todos os instrumentos. Em acrílico, como descrito anteriormente, não é possível avaliar adequadamente a perda eficiência de corte dos instrumentos de níquel-titânio (KAZEMI *et al.*, 1996).

É importante ressaltar que cada instrumento foi utilizado por 60 segundos, até cinco vezes, um tempo bastante prolongado. A escolha deste período se fez necessária para gerar sulcos mensuráveis no estereomicroscópio. Alguns testes foram realizados com períodos menores, mas a mensuração se tornava difícil, especialmente em relação ao instrumento ProFile, que apresenta menor eficiência de corte. Este tempo já foi utilizado anteriormente (VINOTHKUMAR, MIGLANI &

LAKSHMINARAYANANAN, 2007) e serve para propósitos de comparação, mas representa um período superior ao que utilizamos na prática clínica.

Ao examinar os instrumentos em MEV, observamos ranhuras oriundas do processo de usinagem em todos os instrumentos avaliados antes e após uso. Os instrumentos BioRaCe possuem ranhuras menos proeminentes devido ao tratamento eletrolítico, mas isso não parece interferir na funcionalidade dos instrumentos. Em pesquisa realizada por BUI, MITCHELL & BAUMGARTNER (2008), instrumentos ProFile 25/.04 com e sem tratamento eletrolítico foram comparados e não foi encontrada diferença significativa em sua eficiência. Segundo EGGERT, PETERS & BARBAKOW (1999), o efeito de irregularidades de superfície na capacidade de limpeza e modelagem dos instrumentos é difícil de prever e provavelmente não seja clinicamente relevante.

Foram observados bordos cortantes arredondados em instrumentos novos, exceto para a marca BioRaCe. O tratamento eletrolítico pode ter contribuído para tal achado. Após uso, o número de instrumentos com bordos arredondados aumentou para todas as marcas e isso pode colaborar para a perda de eficiência de corte. Bordos cortantes interrompidos foram identificados em poucos instrumentos, mas também representam um sinal de desgaste e necessidade de descarte dos instrumentos.

É importante destacar que os achados do presente estudo, referentes à eficiência de corte, necessitam ser confirmados por pesquisas adicionais, que avaliem a atuação dos instrumentos não apenas em ação lateral, mas no interior de canais radiculares curvos, onde o procedimento de alargamento cervical se faz necessário. Desta forma, será possível verificar a eficiência de corte quando o

instrumento está rodeado por dentina em toda sua circunferência, o que corresponde à prática clínica.

5. CONCLUSÕES

Diante das condições experimentais empregadas, pode-se concluir que:

- O instrumento HyFlex CM, confeccionado com uma liga de níquel-titânio tratada termicamente (*CM-wire*), apresentou maior eficiência de corte que os demais instrumentos, confeccionados com a liga convencional superelástica.
- A velocidade, de um modo geral, influenciou positivamente a eficiência de corte.
- O uso repetido, em dentina bovina, influenciou negativamente a eficiência de corte e provocou desgaste nos bordos cortantes dos instrumentos investigados.

6. REFERÊNCIAS

ABOU-RASS, M.; FRANK, A. L.; GLICK, D. H. The anticurvature filling method to prepare the curved root canal. **J Am Dent Assoc**, v. 101, n. 5, p. 792-794, Nov 1980.

BERGMANS, L.; CLEYNENBREUGEL, J. V.; BEULLENS, M.; WEVWERS, M.; VAN MEERBEEK, B.; LAMBRECHTS, P. Progressive versus constant tapered shaft design using NiTi rotary instruments. **Int Endod J**, v. 36, n. 4, p. 288-295, Apr 2003.

BUEHLER, W. F.; GILFRICH, J. V.; WILEY, R. C. Effect of low temperature phase changes on the mechanical properties of alloys near composition of TiNi. **J Appl Phys**, v. 34, n. 5, p. 1475-1477, May 1963.

BUI, T. B.; MITCHELL, J. C.; BAUMGARTNER, J. C. Effect of electropolishing ProFile nickel-titanium rotary instruments on cyclic fatigue, resistance, torsional resistance, and cutting efficiency. **J Endod**, v. 34, n. 2, p. 190-193, Feb 2008.

CAMARGO, E.J.; ZAPATA, R.O.; MEDEIROS, P.L, BRAMANTE, C.M.;
BERNARDINELI, N.; GARDIA, R.B.; MORAES, I.G.; DUARTE, M.A.H. Influence of preflaring on the accuracy of length determination with four electronic apex locators. **J Endod**, v. 35, n. 9, p. 1300-1302, Sep 2009.

CAMARGO, M. A.; MARQUES, M. M.; CARA, A. A. Morphological analysis of human and bovine dentine by scanning electron microscope investigation. **Arch Oral Biol**, v. 53, n. 2, p. 105-108, Feb 2008.

CASTANHO, G. M.; MARQUES, M. M.; MARQUES, J. B.; CAMARGO, M. A.; CARA, A. A. Micromorphological and hardness analyses of human and bovine sclerotic dentin: a comparative study. **Braz Oral Res**, v. 25, n. 3, p. 274-9, May-Jun 2011.

CHEUNG, G. S.; LIU, C. S. A retrospective study of endodontic treatment outcome between nickel-titanium rotary and stainless steel hand filing techniques. **J Endod**, v. 35, n. 7, p. 938-943, July 2009.

CIVJAN, S.; HUGET, E. F.; DESIMON, L. Potential applications of certain nickel-titanium (Nitinol) alloys. **J Dent Res**, v. 54, n. 1, p. 89-96, Jan-Feb 1975.

COLEMAN, C. L.; SVEC, T. A.; RIEGER, M. R.; SUCHINA, J. A.; WANG, M. M.; GLICKMAN, G. N. Analysis of nickel-titanium versus stainless steel instrumentation by means of direct digital imaging. **J Endod**, v. 22, n. 11, p. 603-607, Nov 1996.

DONASOLLO, T. A.; ROMANO, A. R.; DEMARCO, F. F.; DELLA-BONA, A. Avaliação da microdureza superficial do esmalte e da dentina de dentes bovinos e humanos (permanentes e decíduos). **Rev Odont Cien**, v. 22, n. 58, p. 311-316, out./dez. 2007.

EGGERT, C.; PETERS, O.; BARBAKOW, F. Wear of nickel-titanium Lightspeed instruments evaluated by scanning electron microscopy. **J Endod**, v. 25, n. 7, p. 494-497, Jul 1999.

FAYYAD, D. M.; ELHAKIM ELGENDY, A. A. Cutting efficiency of twisted versus machined nickel-titanium endodontic files. **J Endod**, v. 37, n. 8, p. 1143-1146, Aug 2011.

IBARROLA, J. L.; CHAPMAN, B. L.; HOWARD, J. H.; KNOWLES, K. I.; LUDLOW, M. O. Effect of preflaring on Root ZX apex locators. **J Endod**, v. 25, n. 9, p. 625-626, Sep 1999.

INGLE, J. I.; LEVINE, M. The need for uniformity of endodontic instruments, equipment and filling materials. In: **Transactions of the 2nd International Conference on Endodontics**. Philadelphia: University of Pennsylvania, 1958. p. 123.

KAZEMI, R. B.; STENMAN, E.; SPANGBERG, L. S. W. The endodontic file is a disposable instrument. **J Endod**, v. 21, n. 9, p. 451-455, Sep1995.

KAZEMI, R. B.; STENMAN, E.; SPANGBERG, L. S. W. Machining efficiency and wear resistance of nickel-titanium endodontic files. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v. 81,n. 5, p. 596-602, May 1996.

KIM, J. W.; GRIGGS, J. A.; REGAN, J. D.; ELLIS, R. A.; CAI, Z. Effect of cryogenic treatment on nickel-titanium endodontic instruments. **Int Endod**, v. 38, n. 6, p. 364-371, Jun 2005.

KOCH, K. A.; BRAVE, D. G. Real world endo: design features of rotary files and how they affect clinical performance. **Oral Health**, v. 1, n. 2, p. 39-49, Feb 2002.

LEONARDO, M. R. **Endodontia: tratamento de canais radiculares: princípios técnicos e biológicos**. São Paulo: Artes Médicas, 2005. 1491 p.

LIN, L. M.; SKRIBNER, J. E.; GAENGLER, P. Factors associated with endodontic treatment failures. **J Endod**, v. 18, n. 12, p. 625-627, Dec 1992.

LLOYD, A. Root canal instrumentation with ProFile instruments. **Endod Topics**, v. 10, n. 1, p. 151-154, Mar 2005.

LOIZIDES, A. L.; KAKAVETSOS, V. D.; TZANETAKIS, G. N.; KONTAKIOTIS, E. G.; ELIADES, G. A comparative study of the effects of two nickel-titanium preparation techniques on root canal geometry assessed by microcomputed tomography. **J Endod**, v. 33, n. 12, p. 1455-1459, Dec 2007.

LOPES, H. P.; SIQUEIRA JR, J. F. **Endodontia: biologia e técnica**. Rio de Janeiro: Medsi, 1999. 650 p.

LOPES, H. P.; FERREIRA, A. A.; ELIAS, C. N.; MOREIRA, E. J.; DE OLIVEIRA, J. C.; SIQUEIRA JR, J. R. Influence of rotational speed on the cyclic fatigue of rotary nickel-titanium endodontic instruments. **J Endod**, v. 35, n. 7, p. 1013-1016, Jul 2009.

LOPES, H. P.; ELIAS, C. N.; VIEIRA, V.T.; MOREIRA, E. J.; MARQUES, R. V.; DE OLIVEIRA J. C.; DEBELIAN, J.; SIQUEIRA JR, J. F. Effects of electropolishing surface treatment on the cyclic fatigue resistance of BioRace nickel-titanium rotary instruments. **J Endod**, v. 36, n. 10, p. 1653-1657, Oct 2010.

LUITEN, D. J.; MORGAN, L. A.; BAUMGARTNER, J. C.; MARSHALL, J. G. A comparison of four instrumentation techniques on apical canal transportation. **J Endod**, v. 21, n. 1, p. 26-32, Jan 1995.

MCSPADDEN, J. T. **Mastering endodontic instrumentation**. New York: Arbor Books, 2007. 197 p.

MISERENDINO, L.J.; MOSER, J. B.; HEUER, M. A.; OSETEK, O. M. Cutting efficiency of endodontic instruments. Part I: a quantitative comparison of the tip and fluted regions. **J Endod**, v. 11, n. 10, p. 435-441, Oct 1985.

MISERENDINO, L.J.; MOSER, J. B.; HEUER, M. A.; OSETEK, O. M. Cutting efficiency of endodontic instruments. Part II: analysis of tip design. **J Endod**, v. 12, n. 1, p. 8-12, Jan 1986.

MORGENTAL, R. D.; VIER-PELISSER, F. V.; LUISI, S. B.; COGO, D. M.; KOPPER P. M. P. Preflaring effects on the accuracy of three electronic apex locators. **Rev Odonto Cienc**, v. 26, n. 4, p. 331-335, out./dez. 2011.

OLIET, S.; SORIN, S. Cutting efficiency of endodontic reamers. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol**, v. 36, n. 2, p. 243-252, Aug 1973.

PÉCORA, J. D.; ESTRELA, C.; SPANÓ, J. C. E.; GUERISOLI, D. M. Z.; CAPELLI, A. Influence of cervical preflaring on apical file determination. **Int Endod J**, v. 38, n. 7, p. 430-435, Jul 2005.

PETERS, O. A. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. **J Endod**, v. 30, n. 8, p. 559-567, Aug 2004.

PETERS, O. A.; PAQUÉ, F. Current developments in rotary root canal instrument technology and clinical use: a review. **Quintessence Int**, v. 41, n. 6, p. 479-488, Jun 2010.

PETERS, O. A.; GLUSKIN, A. K.; WEISS, R. A.; HAN, J. T. An in vitro assessment of the physical properties of novel Hyflex nickel-titanium rotary instruments. **Int Endod J**, 2012. In press.

PETTIETTE, M.T.; DELANO, E. O.; TROPE, M. Evaluation of success rate of endodontic treatment performed by students with stainless-steel K-files and nickel-titanium hand files. **J Endod**, v. 27, n. 2, p. 124-127, Feb 2001.

PHRUKKANON, S.; BURROW, M. F.; HARTLEY, P. G. Tyas MJ. The influence of the modification of etched bovine dentin on bond strengths. **Dent Mater**, v. 16, n. 4, p. 255-265, Jul 2000.

RAPISARDA, E.; BONACCORSO, A.; TRIPI, T. R.; FRAGALK, I.; CONDORELLI G. G. The effect of surface treatments of nickel-titanium files on wear and cutting efficiency. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v. 89, n. 3, p. 363-368, Mar 2000.

RUDDLE, C. J. The ProTaper technique: endodontics made easier. **Dent Today**, v. 20, n. 11, p. 58-64, Nov 2001.

SANFELICE, C. M.; COSTA, F. B.; SÓ, M. V. R.; VIER-PELISSER, F.; BIER, C. A. S.; GRECCA, F. S. Effects of four instruments on coronal pre-enlargement by using cone beam computed tomography. **J Endod**, v. 36, n. 5, p. 858-861, May 2010.

SCHÄFER, E. Effect of physical vapor deposition on cutting efficiency of nickel-titanium files. **J Endod**, v. 28, n 12, p. 800-802, Dec 2002.

SCHÄFER, E. Effect of sterilization on the cutting efficiency of PVD-coated nickel-titanium endodontic instruments. **Int Endod J**, v. 35, n. 10, p. 867-872, Oct 2002.

SCHÄFER, E.; OITZINGER, M. Cutting efficiency of five different types of nickel-titanium instruments. **J Endod**, v. 34, n.2, p. 198-200, Feb 2008.

SCHILKE, R.; BAUSS, O.; LISSON, J. A.; SCHUCKAR, M.; GEURTSSEN, W. Bovine dentin as a substitute for human dentin in shear bond strength measurements. **Am J Dent**, v. 12, n. 2, p. 92-96, Apr 1999

SCHILKE, R.; LISSON, J. A.; BAUB, O.; GEURTSSEN, W. Comparison of the number and diameter of dentinal tubules in human and bovine dentine by scanning electron microscopic investigation. **Arch Oral Biol**, v. 45, n. 5, p. 355-361, May 2000.

SHEN, Y.; HAAPASALO, M. Three-dimensional analysis of cutting behavior of nickel-titanium rotary instruments by microcomputed tomography. **J Endod**, v. 34, n. 5, p. 606-610, May 2008.

SHEN, Y.; QIAN, W.; ABTIN, H.; GAO, Y.; HAAPASALO, M. Fatigue testing of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. **J Endod**, v. 37, n. 7, p. 997-1001, Jul 2011.

SHEN, Y.; ZHOU, H. M.; ZHENG, Y. F.; CAMPBELL, L.; PENG, B.; HAAPASALO, M. Metallurgical characterization of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. **J Endod**, v. 37, n. 11, p. 1566-1571, Nov 2011.

SICILIANO, M. C. R. **Análise da correlação entre perfil geométrico transversal e eficiência de corte de instrumentos endodônticos rotatórios de níquel-titânio.** 2008. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2008.

SIQUEIRA JR, J. F.; ALVES, F. R. F.; ALMEIDA, B. M.; OLIVEIRA, J. C. M.; RÔÇAS, I. N. Ability of chemomechanical preparation with either rotary instruments

or self-adjusting file to disinfect oval-shaped root canals. **J Endod**, v. 36, n. 11, p. 1860-1865, Nov 2010.

SOARES, I. J.; GOLDBERG, F. **Endodontia: técnica e fundamentos**. Porto Alegre: Artmed, 2001. 376 p.

SPANGBERG, L. S. W. Instrumentos, materiais e aparelhos. In: Cohen S, Burns RC. **Caminhos da polpa**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. 695 p.

TAN, B.T.; MESSER, H. H. The quality of apical canal preparation using hand and rotary instruments with specific criteria for enlargement based on initial apical file size. **J Endod**, v. 28, n. 9, p. 658-664, Sep 2002.

TENNERT, C.; HERBERT, J.; ALTENBURGUER, M. J.; WRBAS, K. The effect of cervical preflaring using different rotary nickel-titanium systems on the accuracy of apical file size determination. **J Endod**, v. 36, n. 10, p. 1669-1672, Oct 2010.

TESTARELLI, L.; PLOTINO, G.; AL-SUDANI, D.; VINCENZI, V.; GIANSIRACUSA, A.; GRANDE, N. M.; GAMBARINI, G. Bending properties of a new nickel-titanium alloy with a lower percent by weight of nickel. **J Endod**, v. 37, n. 9, p. 1293-1295, Sep 2011.

THOMPSON, S. A. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. **Int Endod J**, v. 33, n. 4, p. 297-310, Jul 2000.

THOMPSON, S.A.; DUMMER, P. M. Shaping ability of ProFile.04 Taper Series 29 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals. Part 1. **Int Endod J**, v. 30, n. 1, p. 1-7, Jan 1997.

VINOTHKUMAR, T. S.; MIGLANI, R.; LAKSHMINARAYANANAN, L. Influence of deep dry cryogenic treatment on cutting efficiency and wear resistance of nickel-titanium rotary endodontic instruments. **J Endod**, v. 33, n. 11, p. 1355-1358, Nov 2007.

WALIA, H. M.; BRANTLEY, W. A.; GERSTEIN, H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. **J Endod**, v. 14, n. 7, p. 346-351, Jul 1988.

WAN, J.; RASIMICK, B. J.; MUSIKANT, B. L.; DEUTSCH, A. S. Cutting efficiency of 3 different instrument designs used in reciprocation. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v. 109, n. 5, p. e82-85, May 2010.

WEST, J. Progressive taper technology: rationale and clinical technique for the new ProTaper Universal system. **Dent Today**, v. 25, n. 12, p. 64-69, Dec 2006.

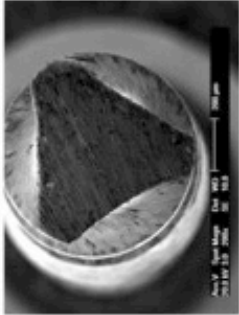
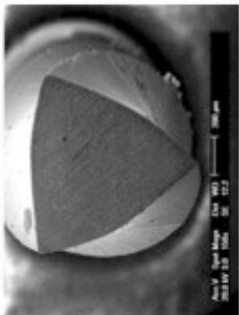
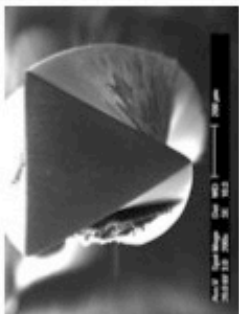
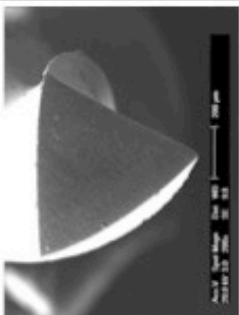
YARED, G. M.; BOU DAUGHER, F. E.; MACHTOU, P. Influence of rotational speed, torque and operator's proficiency on ProFile failures. **Int Endod J**, v. 34, n. 1, p. 47-53, Jan 2001.

YGUEL-HENRY, S.; VANNESSON, H.; VON STEBUT, J. High precision, simulated cutting efficiency measurement of endodontic root canal instruments: influence of file configuration and lubrication. **J Endod**, v. 16, n. 9, p. 418-422, Sep 1990.

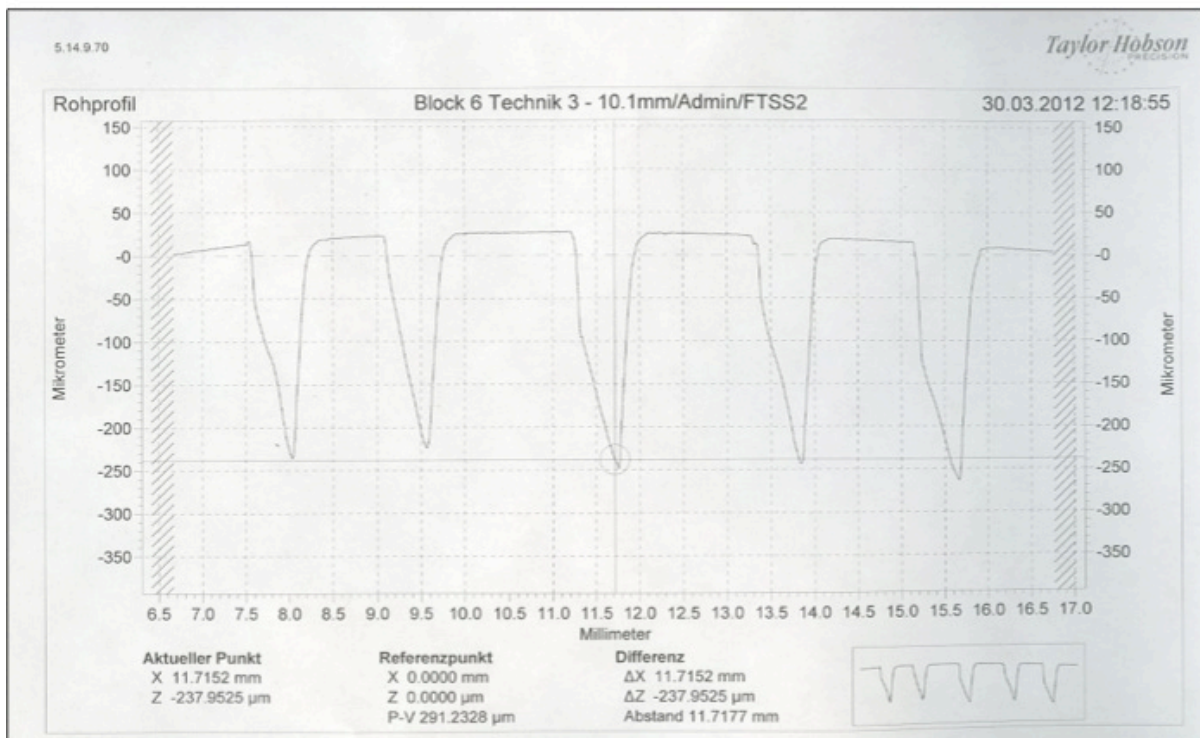
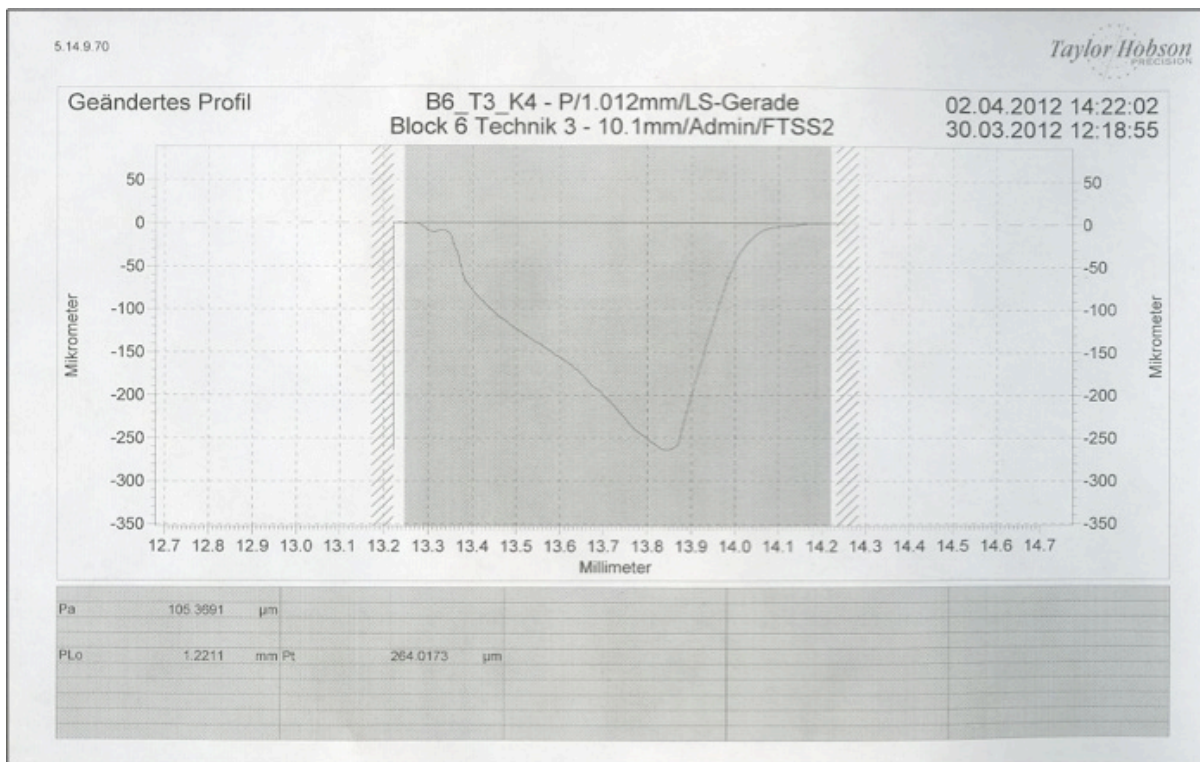
YGUEL-HENRY, S.; VON STEBUT, J. Cutting efficiency loss of root canal instruments due to bulk plastic deformation, surface damage, and wear. **J Endod**, v. 20, n. 8, p. 367-372, Aug 1994.

7. APÊNDICES

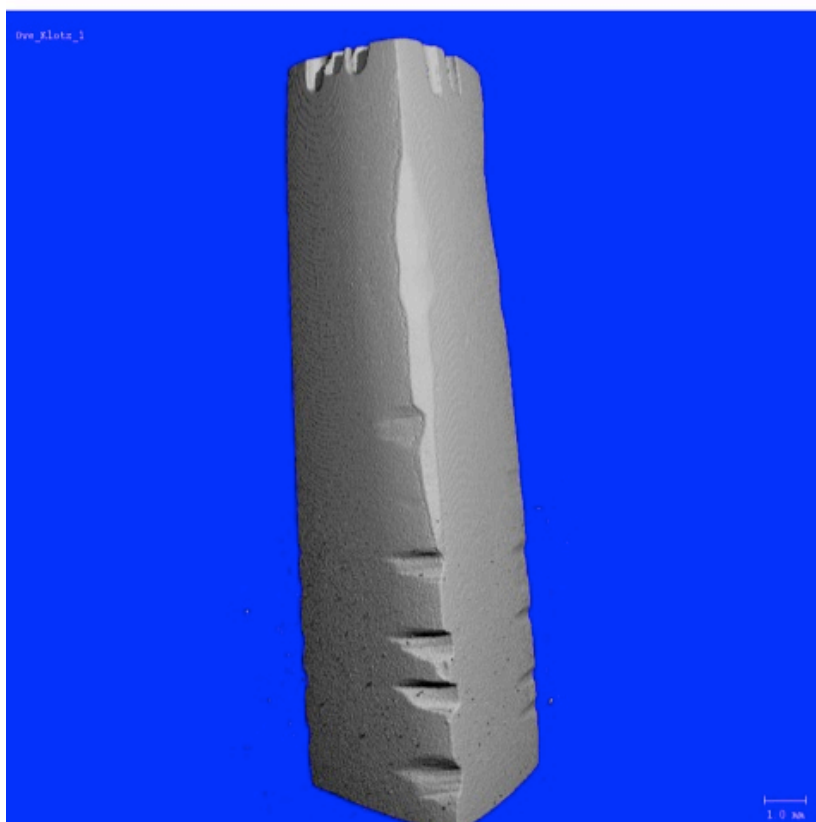
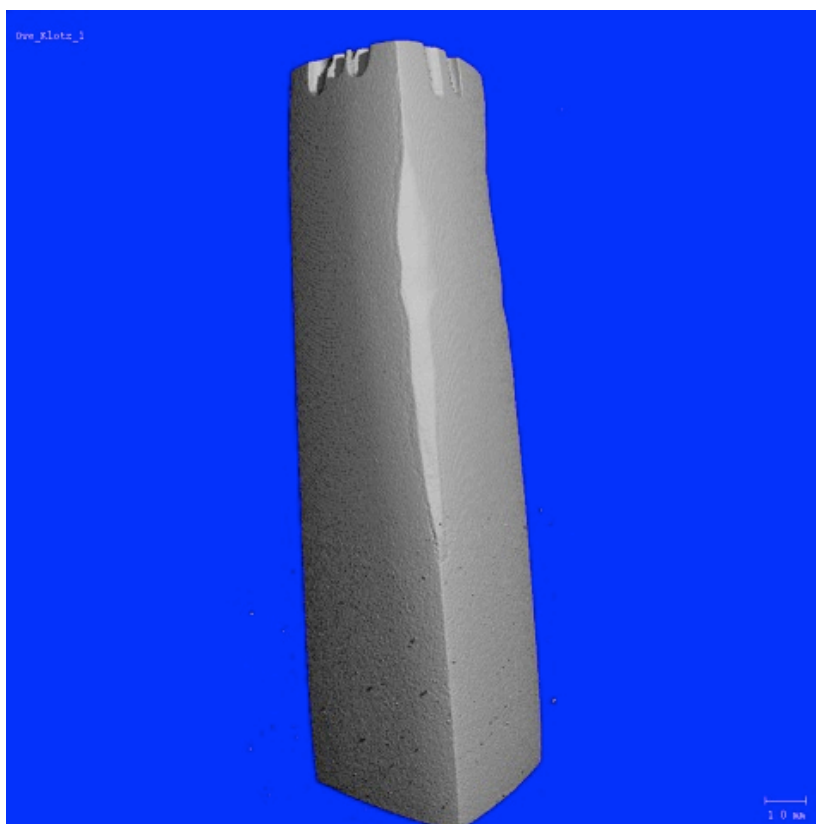
Apêndice A: Quadro comparativo com a descrição dos instrumentos avaliados

| Características | Instrumento OS #2 Sistema ProFile | Instrumento Sx Sistema ProTaper | Instrumento BR0 Sistema BioRaCe | Instrumento CM 1 Sistema HyFlex CM |
|--------------------|--|--|--|--|
| Diâmetro da ponta | 30 | 19 | 25 | 25 |
| Conicidade | 0.06 | Crescente | 0.08 | 0.08 |
| Secção transversal | Forma de U | Triangular | Triangular | Triangular |
| Guias radiais | Sim | ----- | ----- | ----- |
| Tratamento | ----- | ----- | Polimento eletrolítico | Termomecânico (CM-wire) |
| Imagem em MEV |  |  |  |  |

Apêndice B: Imagens da mensuração da profundidade máxima de corte em perfilômetro



Apêndice C: Imagens do escaneamento pré e pós-operatório de um bloco de dentina bovina (microtomografia computadorizada)



8. ANEXOS

Anexo A: Parecer da CCEFO-PUCRS



Comissão Científica e de Ética Faculdade da Odontologia da PUCRS

Porto Alegre 14 de Setembro de 2011

O Projeto de: Tese

Protocolado sob nº: 0056/11
Intitulado: Avaliação da eficiência de corte e da deformação de instrumentos rotatórios de níquel-titânio para alargamento cervical de canais radiculares
Pesquisador Responsável: Profa.Dra. Fabiana Vieira Vier Pelisser
Pesquisadores Associados: Renata Dornelles Morgental; Patrícia Maria Poli Kopper Móra
Nível: Tese / Doutorado

Foi **aprovado** pela Comissão Científica e de Ética da Faculdade de Odontologia da PUCRS em 14 de Setembro de 2011.

Profa. Dra. Ana Maria Spohr
Presidente da Comissão Científica e de Ética da
Faculdade de Odontologia da PUCRS