

**UNIVERSIDADE DO GRANDE RIO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA**

**PREPARO DO CANAL RADICULAR COM O USO DE QUATRO
INSTRUMENTOS RECIPROCANTES OU ROTATÓRIOS: UM ESTUDO
EX-VIVO DE MICROTOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA**

ISABELA GOUVÊA GUEDES

2023

UNIVERSIDADE DO GRANDE RIO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

PREPARO DO CANAL RADICULAR COM O USO DE QUATRO
INSTRUMENTOS RECIPROCANTE OU ROTATÓRIOS: UM ESTUDO
EX-VIVO DE MICROTOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

ISABELA GOUVÊA GUEDES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia, da Universidade do Grande Rio (UNIGRANRIO), como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Odontologia (Área de Concentração: Endodontia).

Orientadores:

Profa. Dra. Isabela das Neves Rôças Siqueira
Prof. Dr. José Freitas Siqueira Junior

2023

PREPARO DO CANAL RADICULAR COM O USO DE QUATRO NOVOS INSTRUMENTOS RECIPROCANTE OU ROTATÓRIOS: UM ESTUDO EX-VIVO DE MICROTOMOGRÁFIAS COMPUTADORIZADAS

ISABELA GOUVÊA GUEDES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia, da Universidade do Grande Rio (UNIGRANRIO), como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre) em Odontologia (Área de Concentração: Endodontia).

Aprovada em 5 de julho de 2023.

Banca examinadora

Prof Dr. Andrea Fagundes Campello

Prof. Dr. José Claudio Provenzano

DEDICATÓRIA

A Deus e à minha família por terem me dado todo
suporte e por não terem me deixado desistir quando
continuar não parecia ser uma opção.
Sou uma pessoa melhor por vocês e para vocês.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, pela saúde e pelas inúmeras oportunidades que se abriram única e exclusivamente por Sua infinita bondade e pela Graça incomparável.

Aos meus pais, Álvaro e Chrystiane, por serem meus grandes incentivadores e facilitadores de meus sonhos. Sem vocês nada seria possível ou teria propósito.

À minha irmã, Amanda, por ser minha melhor amiga e fã número um, por seu apoio incondicional, por comemorar cada conquista, por suavizar as derrotas e, assim, tornar minha vida mais leve e jamais solitária.

À minha esposa, Marina, pela compreensão, pelo amor, por tornar a zona de conforto o lugar mais desconfortável do mundo. Obrigada por sua paciência e por ter segurado tantas coisas ao meu lado. Dividir a vida com você segue sendo minha escolha mais acertada.

À minha sobrinha, Helena, que mesmo tão pequenininha enche minha vida e coração de felicidade. Você renova minhas forças e me motiva a ser alguém melhor todos os dias.

Aos meus professores, orientadores e amigos de curso, em especial a Thaís Martins, Natasha Ajuz, Karen Brisson, Alessandra Baasch, Luis Felipe e Patricia Vianna, por terem compartilhado e trocado tão mais do que apenas conhecimento científico comigo. Os levarei sempre em meu coração.

“Tudo o que sei custou as dores das experiências.
Tenho respeito pelos que procuram, pelos que tateiam, pelos
que erram. E, o que é mais importante, estou persuadido de que
minha luz se extinguiria se eu fosse o único a possuí-la”.

Goethe.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA	13
2. JUSTIFICATIVA	25
3. HIPÓTESE.....	26
4. OBJETIVOS.....	27
5. MATERIAIS E MÉTODOS	28
6. RESULTADOS	38
7. DISCUSSÃO.....	42
8. CONCLUSÃO.....	45
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
10. ANEXOS.....	52

RESUMO

Objetivo. O objetivo deste trabalho foi comparar a capacidade de instrumentação de quatro novos instrumentos, reciprocantes e rotatórios de níquel-titânio em raízes mesiais de molares inferiores a partir de avaliações de micro-tomografia computadorizada (micro-CT). **Materiais e Métodos.** Vinte e quatro molares inferiores extraídos com classificação IV de Vertucci na raiz mesial foram selecionados para este estudo. Os dentes foram organizados em quatro grupos de acordo com similaridades anatômicas observadas na micro-CT e, então, divididos em quatro grupos de doze canais mesiais de acordo com o sistema a ser utilizado: Reciproc Blue, R-Motion, VDW. Rotate e RACE EVO. O tamanho final da instrumentação apical foi 30/.04 para três sistemas e 25/.08 para Reciproc Blue. Os escaneamentos de micro-CT foram realizados antes e após o preparo a fim de avaliar o volume e a área do canal, as áreas não preparadas, capacidade de centralização e espessura de dentina remanescente. **Resultados.** A instrumentação com todos os sistemas aumentou significativamente o volume e área dos canais ($P>.05$). Não houve diferença significativa entre os grupos para áreas não preparadas ($P>.05$). Também não houve diferença estatisticamente relevante quanto à variação do centro de gravidade em todos os grupos ($P>.05$). A espessura do canal em relação à dentina aumentou significativamente em todos os grupos após instrumentação ($P<.01$). Não houve diferença significativa ao comparar as espessuras de dentina remanescente em 0 e 4mm do ápice em direção à embocadura do canal ($P>.05$). Em nenhuma amostra a espessura do canal excedeu 40% da espessura radicular. **Conclusões.** Instrumentos reciprocantes ou rotatórios com seção transversal triangular ou “em S” performaram igualmente na instrumentação de canais.

Palavras-chave: Instrumentação do canal radicular; instrumentos de níquel-titânio; microtomografia computadorizada; preparo do canal radicular

ABSTRACT

Introduction This study compared the shaping ability of 4 new reciprocating and rotary nickel-titanium instruments in the mesial canals of mandibular molars using micro-computed tomographic (micro-CT) evaluation.

Methods: Twenty-four extracted mandibular molars with Vertucci's class IV configuration in the mesial root were selected for this study. The teeth were matched in fours according to anatomic similarities as revealed by micro-CT and then distributed into 4 groups of 12 mesial canals each according to the instrumentation technique: Reciproc Blue, R-motion, VDW. Rotate, and RaCe EVO. The final apical size of instrumentation was 30/.04 for 3 systems and 25/08 for the Reciproc Blue instrument. Micro-CT scans were taken before and after preparation to evaluate the canal volume, area and unprepared surface areas, centering ability, and the canal/root width ratio.

Results: Preparation with all systems significantly increased the volume and area of the canals ($P < .05$). There were no significant differences between groups regarding the amount of unprepared areas in both apical and full canal lengths ($P > .05$). Also, variation in the center of gravity showed no significant difference between groups either ($P > .05$). The root canal width in relation to the root was significantly enlarged by all systems ($P < .01$). There were no significant differences between groups when the canal/root width ratio before and after preparation was compared at levels 0 and 4 mm apically to the coronal canal opening ($P > .05$). In no specimen the canal width exceeded 40% of the root width at the levels examined.

Conclusions Reciprocating or rotary instruments, with a triangular or an S-shaped cross-section, performed equally in shaping mesial canals of mandibular molars.

Key Words: Root canal preparation; micro-computed tomography; nickel-titanium instruments; root canal shaping

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Classificação esquemática de Vertucci.....	17
Figura 2.	Instrumento Reciproc Blue.....	23
Figura 3.	Instrumentos do sistema R-Motion.....	23
Figura 4.	Instrumentos do sistema VDW.Rotate.....	24
Figura 5.	Instrumentos do sistema RACE EVO.....	24
Figura 6.	Imagem ilustrativa do microtomógrafo SkyScan.....	29
Figura 7.	Pareamento das amostras por similaridade anatômica.....	30
Figura 8.	Estabelecimento de patência e comprimento de trabalho da amostra...	31
Figura 9.	Torno de bancada nº 0 para fixação da amostra.....	31
Figura 10.	Fluxograma de instrumentação e irrigação da amostra.....	33
Figura 11.	Representação 3D dos escaneamentos de micro-CT.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Volume e área de superfície de canais mesiais de molares inferiores antes e depois da instrumentação com quatro sistemas.....	39
Tabela 2.	Centro de gravidade (mm) dos canais radiculares após instrumentação utilizando dois sistemas distintos.....	40
Tabela 3.	Espessura canal/raiz antes e depois da instrumentação com os quatro sistemas.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

CT	Comprimento de Trabalho
CTAn	<i>Software Analyzer</i>
kV	Kilovoltagem
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
ML	Mésio-lingual
mL	Mililitro (s)
mm	Milímetro (s)
mV	Mésio-vestibular
NaOCl	Hipoclorito de sódio
NiTi	Níquel-titânio
PMCC	Paramonoclorofenol Canforado
PQM	Preparo químico-mecânico
R25	Reciproc® 25/ 0.6
R40	Reciproc® 40/ 0.6
SCR	Sistema de canais radiculares
microCT	Microtomografia computadorizada

1. INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA

A infecção é o principal desafio enfrentado pelo endodontista cujos tratamentos objetivam eliminar ou, ao menos, reduzir a colonização de microrganismos no sistema de canais radiculares (SCR) (SIQUEIRA et al., 2012). O sucesso do tratamento endodôntico se associa intimamente ao adequado preparo químico-mecânico (PQM) devido à sua capacidade de limpeza, desinfecção e modelagem do canal radicular; esta etapa, por sua vez, viabiliza adequada obturação e a criação de um ambiente favorável à reparação tecidual e à perpetuação da sanidade dos tecidos perirradiculares (SIQUEIRA et al., 2018a).

O PQM é realizado por meio da instrumentação manual ou acionada a motor associada ao uso de substâncias químicas auxiliares e, se necessário, ao uso de medicações intracanal visando, assim, a máxima redução possível de tecido pulpar, detritos e microrganismos. No entanto, as complexidades morfológicas do SCR, como istmos, deltas apicais e canais acessórios, promovem limitações ao PQM resultando na manutenção de remanescentes pulpares, detritos e microrganismos (HÜLSMANN et al., 2005).

Apesar dos esforços e avanços relacionados às técnicas de instrumentação, instrumentos e irrigantes, dificilmente uma completa limpeza, desinfecção e modelagem do canal radicular é alcançada (PÉREZ et al., 2018), uma vez que a complexidade do SCR pode comprometer a eficácia do PQM devido à não-adaptação dos instrumentos endodônticos às paredes dos canais radiculares (BUCHANAN, 2000). Dentre os métodos utilizados a fim de avaliar a eficiência do PQM, destaca-se a microtomografia computadorizada (microCT). A microCT é um método não

destrutivo que possibilita ao pesquisador uma análise tridimensional precisa e em alta resolução da anatomia dental, além de permitir comparar o mesmo canal radicular antes e depois da instrumentação (SIQUEIRA et al., 2017). O uso de microCT em ensaios laboratoriais ex-vivo sugere que de 11%-18% das paredes do canal radicular permanecem intocadas após instrumentação e que cerca de 30%-60% dos microrganismos persistem nestas áreas mesmo após o PQM, sendo um fator de risco para o desenvolvimento de periodontite apical pós-tratamento endodôntico (ALVES et al., 2016).

Visando transpor os desafios anatômicos dos canais radiculares, difundiu-se o uso de instrumentos fabricados a partir da liga de níquel-titânio (NiTi) que permitiram um menor número de deformações se comparados aos instrumentos de aço inoxidável, como o transporte apical, a ocorrência de zips, perfurações e desvios especialmente durante a instrumentação de segmentos curvos (PEREIRA et al., 2012). A evolução destes instrumentos deu origem a vários sistemas cujas diferenças residem na conicidade, tipo e tamanho da ponta, seção transversal, ângulo de corte e área de escape. Assim como a liga e as características de produção, as propriedades mecânicas e o comportamento dos instrumentos variam, assim como seu modo de uso durante a instrumentação dos canais radiculares (PETERS, 2004).

Apesar dos avanços com a introdução dos instrumentos de NiTi acionados a motor, estudos têm demonstrado falhas na desinfecção do SCR durante o PQM, pois nenhuma técnica de preparo tem promovido uma completa limpeza e desinfecção dos canais. Tanto o movimento de rotação contínua quanto o movimento reciprocante dos instrumentos tendem a realizar preparos circulares, o que favorece a retenção de remanescentes pulpare e microrganismos nas paredes dentinárias não tocadas principalmente nas extensões vestibulares e linguais (RIBEIRO et al., 2013) servindo, assim, como fator causal do fracasso da terapia endodôntica (SIQUEIRA et al., 2010;

ALVES et al., 2011; SIQUEIRA et al., 2018a). Estas áreas podem permanecer não preparadas tanto por conta de irregularidades no formato do canal radicular em sua seção transversal, oval ou achatada, quanto pelo diâmetro dos instrumentos não ser suficiente para tocar em todas as paredes do canal principal (PÉREZ et al., 2018).

Diante dos fatores relacionados ao sucesso do tratamento endodôntico e à complexidade morfológica do SCR, enfatiza-se a importância do conhecimento da anatomia pulpar interna e da morfologia da seção transversal dos dentes, como número de raízes, número de canais por raízes e sua localização, formato das raízes nos terços cervical, médio e apical para que o PQM possa ser realizado de forma tão adequada e eficiente quanto possível (WALTON & VERTUCCI, 1997; ESTRELA & FIGUEIREDO, 1999).

Uma melhor desinfecção do SCR é observada em preparos mais amplos tendo em vista que ultrapassam de forma satisfatória as irregularidades anatômicas (DALTON et al., 1998; SIQUEIRA et al., 1999; WEIGER et al., 2006). Em contrapartida, a quantidade de dentina removida durante o PQM pode ser proporcional à vulnerabilidade à fratura radicular, comprometendo as propriedades mecânicas dos elementos endodonticamente tratados (ADORNO et al., 2010; ZELIC et al., 2015). A partir da percepção clínica e com a evolução da Endodontia Minimamente Invasiva, a manutenção da dentina pericervical, situada aproximadamente a 4mm acima e abaixo da crista óssea, durante o tratamento endodôntico tem sido preconizada, uma vez que poderia reduzir o risco de fratura do dente devido à redução da flexão de cúspides (CLARK & KHADEMI, 2010; BÓVEDA & KISHEN, 2015).

Não existe um único fator responsável pelo fracasso da terapia endodôntica, mas diversas variáveis clínicas. Os molares inferiores, independentemente do estado pulpar, apresentam as menores taxas de sucesso diante de todos os grupamentos

dentários, o que pode ser explicado pela complexidade anatômica e consequente dificuldade de desinfecção do SCR (RICUCCI et al., 2011).

Neste contexto, sistemas mecanizados de NiTi foram inseridos no mercado buscando promover limpeza e desinfecção superiores do SCR. Este estudo de microCT tem a proposta de avaliar o uso de quatro sistemas distintos: Reciproc Blue (VDW, Munique, Alemanha), R-Motion (FKG Dentaire SA, LaChaux-deFonds, Suíça), VDW.Rotate (VDW, Munique, Alemanha) e RACE EVO (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Switzerland) a partir da avaliação de paredes do volume e área do canal, áreas de superfície não-preparadas, capacidade de centralização e espessura de dentina remanescente após instrumentação preconizada de acordo com as especificidades de cada fabricante e protocolo de irrigação, de canais mesiais de molares inferiores classe IV de VERTUCCI.

1.1 FUNDAMENTOS DO PREPARO QUÍMICO-MECÂNICO

O PQM objetiva alcançar a limpeza, desinfecção e modelagem do canal radicular. Associa-se a ação mecânica dos instrumentos endodônticos às substâncias químicas auxiliares visando promover uma redução significativa de microrganismos nos canais infectados (BYSTRÖM & SUNDVIST, 1981; SIQUEIRA et al., 1999; HÜLSMANN et al., 2003).

Enquanto em casos de polpa viva o preparo do canal objetiva a criação de uma modelagem compatível com a obturação, em casos de infecção do SCR além da remoção de remanescentes pulpare necróticos, o PQM tem o objetivo de reduzir ao máximo o número de microrganismos sem que haja extrusão importante de detritos contaminados para os tecidos periapicais evitando, assim, a perpetuação do processo inflamatório (WU et al., 2000a; YOUNG et al., 2007).

1.2 COMPLEXIDADE DA ANATOMIA INTERNA DO SCR

VERTUCCI (1984), propôs a classificação da morfologia interna em oito tipos: tipo I – um único canal com extensão da câmara pulpar ao ápice; tipo II – dois canais separados que deixam a câmara pulpar e se unem próximo ao ápice e formam um canal; tipo III – um canal deixa a câmara pulpar, se divide em dois e antes do ápice se junta novamente para um forame único; tipo IV – dois canais separados e distintos em toda extensão da câmara pulpar ao ápice; tipo V – um canal deixa a câmara pulpar e se divide antes do ápice em dois canais separados e distintos, terminando em forames apicais independentes; tipo VI – dois canais separados deixam a câmara pulpar, se juntam e se dividem novamente antes do ápice, terminando em forames distintos; tipo VII – um canal deixa a câmara pulpar, se divide em dois que se juntam durante o trajeto e se dividem novamente antes do ápice terminando em dois forames independentes e tipo VIII – três canais separados e distintos em toda a extensão da câmara pulpar ao ápice radicular (Figura 1).

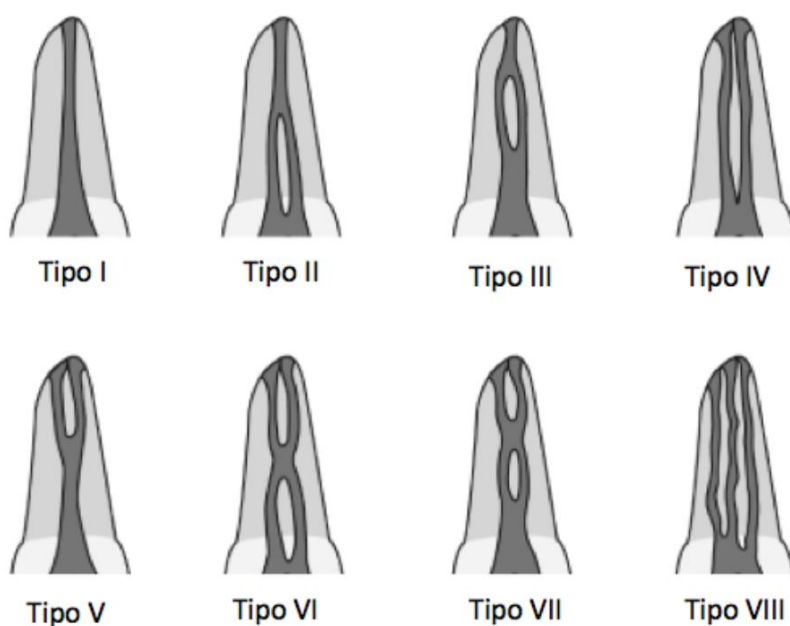


Figura 1. Classificação esquemática de VERTUCCI.4R5TFGV

O SCR apresenta irregularidades anatômicas que dificultam o sucesso da terapia endodôntica como ramificações laterais e apicais, reentrâncias, istmos, túbulos dentinários, canais recorrentes, ramificações intercanais que estão muitas vezes associadas ao segmento apical de pré-molares e molares (DE DEUS, 1975). Para RICCUCCI & SIQUEIRA (2008), microrganismos localizados nessas complexidades anatômicas se encontram fora do alcance dos efeitos dos instrumentos endodônticos e das substâncias químicas usadas durante o PQM, o que corrobora a difícil tarefa de limpeza e desinfecção do SCR.

O molar inferior apresenta um complexo e desigual grupamento de variações anatômicas do SCR. Estes possuem, em sua maioria, duas raízes e três canais (61,3%), sendo dois mesiais e um distal (VERTUCCI, 1984; VILLAS-BOAS *et al.*, 2011). Segundo WALTON & VERTUCCI (1997), o conhecimento das variações mais comuns da anatomia interna auxilia na adequada limpeza e modelagem do SCR.

1.3 ÁREAS NÃO PREPARADAS DURANTE A INSTRUMENTAÇÃO

O resultado ideal de paredes tocadas durante o preparo seria de 100%, considerando este dado um indicativo indireto de limpeza, uma vez que todo tecido pulpar ou biofilme bacteriano aderidos às paredes teriam sido eliminados com a camada de dentina removida durante o PQM (METZER *et al.*, 2014).

De acordo com WU *et al.*, (2000b) a ocorrência de canais ovais ou achatados em suas seções transversais pode variar de 25%-50% fazendo, assim, com que algumas áreas não possam ser tocadas pelos instrumentos endodônticos. As áreas dos canais não tocadas durante o PQM podem servir como abrigo para colonização bacteriana favorecendo a persistência da infecção endodôntica (ALVES *et al.*, 2011b; DIETRICH *et al.*, 2012).

SIQUEIRA et al., (2018a) avaliaram os aspectos morfológicos das áreas não preparadas de canais radiculares após o PQM. A amostra selecionada foi de 10 pré-molares inferiores com necrose pulpar associada a lesão perirradicular e canais méso-vestibulares de 11 molares com polpas vitais. O preparo foi realizado com instrumentos Reciproc R40 e R25, respectivamente, e irrigados com NaOCl a 2,5%. Os canais foram escaneados antes e após o preparo e áreas não preparadas foram identificadas e submetidas à análise histológica, em polpas vitais, e microscopia eletrônica de varredura (MEV), em polpas necróticas. Nos molares a quantidade de áreas não preparadas foi de 18,1% em toda extensão do canal e 9,6% no segmento apical; nos pré-molares, por sua vez, a quantidade de áreas não preparadas foi de 34,6% e 17,6%, respectivamente. A análise histológica de canais com polpas vitais revelou maior quantidade de tecido pulpar remanescente no segmento apical, enquanto a análise por MEV dos canais com polpas necróticas revelou detritos em todos os segmentos avaliados. Concluíram, assim, que as áreas não preparadas durante a instrumentação apresentaram frequentemente tecido pulpar remanescente, detritos e microrganismos, principalmente no segmento apical.

PETERS et al. (2015) observaram, a partir da avaliação do preparo de 20 raízes mesiais de molares inferiores com canais independentes, que a instrumentação dos canais até um instrumento #20 é insuficiente para atingir uma elevada área de paredes do canal, deixando até 43% de superfície não tocada nos 4mm apicais.

PÉREZ et al. (2018) associaram o aumento progressivo do diâmetro do preparo do canal à uma redução significativa no percentual de paredes não tocadas.

1.4 MICRORGANISMOS PERSISTENTES NO SCR

Objetivando o sucesso após a terapia endodôntica, a eliminação ou a redução significativa de microrganismos, assim como a prevenção da recontaminação do SCR

se fazem imprescindíveis. No entanto, estudos clínicos têm evidenciado a permanência de microrganismos nas porções não instrumentadas e de maior complexidade anatômica do SCR mesmo após PQM e obturação dos canais radiculares. (SIQUEIRA & RÔÇAS, 2004; NAIR *et al.*, 2005; VERA *et al.*, 2012).

Esta complexidade anatômica do SCR inviabiliza a esterilização dos canais por meio do PQM que objetiva, assim, reduzir a carga bacteriana a um nível compatível com saúde, ou seja, abaixo da contagem necessária para causar ou perpetuar a doença, sendo um desafio precisar qual seria o nível compatível para que a reparação perirradicular aconteça (SIQUEIRA & RÔÇAS, 2008; SIQUEIRA, 2011).

RÔÇAS *et al.* (2013) analisaram a redução na contagem bacteriana após o preparo manual e acionado a motor com instrumentos de NiTi por meio de análise por métodos moleculares e concluiu-se que independentemente do tipo de técnica, a redução bacteriana é comparável quando os parâmetros de alargamento e irrigação se assemelham.

1.5 MICRO-CT APLICADA NA ENDODONTIA

A micro-CT é considerada uma ferramenta com grande potencial para a pesquisa por sua capacidade de reconstruir de forma detalhada dentes antes, durante e após diferentes procedimentos experimentais, permitindo a obtenção de dados em todas as etapas. Na endodontia permite não apenas avaliação da morfologia interna e externa, mas de quaisquer alterações volumétricas da cavidade pulpar decorrentes do PQM e/ou obturação dos canais radiculares (NIELSEN *et al.*, 1995).

A abordagem não destrutiva da microCT viabiliza o estudo da anatomia de forma precisa e tridimensional em vários ângulos superando deficiências técnicas de estudos anteriores e permitindo, por ser uma técnica reprodutível, avaliações

qualitativas e quantitativas de todo o SCR (PETERS *et al.*, 2000; VERSIANI *et al.*, 2013).

1.6 MODERNIZAÇÃO DOS INSTRUMENTOS E SISTEMAS ENDODÔNTICOS

Objetivando vencer os desafios anatômicos dos canais radiculares, a introdução dos instrumentos de NiTi e a subsequente mecanização dos sistemas endodônticos incrementaram significativamente a qualidade e a previsibilidade dos preparos, proporcionando uma redução dos índices de transporte apical, zips, perfurações e desvios, especialmente durante a instrumentação de canais curvos (PEREIRA *et al.* 2012; TINOCO *et al.* 2014; GAVINI *et al.*, 2018).

Inovações aconteceram nos últimos anos tanto no design quanto nos tratamentos térmicos e de superfície nos instrumentos de NiTi associadas à incorporação e hibridização de novos movimentos. Tais mudanças, combinadas ao conhecimento da morfologia e das características mecânicas dos instrumentos endodônticos e seu uso adequado, garantem maior segurança e versatilidade no preparo dos canais radiculares pelo operador (GAVINI *et al.*, 2018).

O avanço tecnológico na produção de instrumentos de NiTi permitiu a fabricação por processo de usinagem que, por sua vez, viabilizou mudanças na configuração da parte ativa, variações no ângulo helicoidal e ângulo de corte, assim como diferentes aumentos na conicidade em um mesmo instrumento não seguindo, necessariamente, os padrões ISO publicados em 1958 e adotados até hoje para os instrumentos manuais (THOMPSON, 2000).

Por muitos anos a fabricação dos instrumentos endodônticos era exclusivamente por usinagem convencional que permitia variações no design da seção transversal de corte, disposição das superfícies de corte na parte ativa e presença ou ausência de superfícies radiais, uma vez que o objetivo principal era

melhorar a capacidade de corte dos instrumentos e, ao mesmo tempo, diminuir os riscos de fratura. Com este intuito, passaram a ser realizados, também, tratamentos nas ligas de NiTi que resultaram em mudanças no comportamento clínico dos instrumentos, como superelasticidade e memória controlada, assim como mudanças na cinemática dos sistemas endodônticos (GAVINI et al., 2018).

Apesar das vantagens associadas à superelasticidade das ligas de NiTi, a propensão à fratura levou ao desenvolvimento de estratégias para melhorar a eficiência e a segurança desses instrumentos. As propriedades mecânicas e o comportamento dos sistemas mecanizados de NiTi variam de acordo com a composição da liga e com o tratamento termomecânico recebido (GAMBARINI et al., 2011; SHEN et al., 2011; GUTMANN & GAO 2012; YE & GAO 2012).

A introdução de sistemas mecanizados de NiTi culminou em maior previsibilidade no tratamento endodôntico e, também, em uma redução significativa do tempo clínico. O movimento de rotação contínua ainda é o mais prevalente nos sistemas mecanizados disponíveis no mercado, onde as limas giram 360° no sentido horário no interior do canal radicular, mas visando diminuir a propensão destes instrumentos à fratura, o movimento recíprocante, que alterna movimentos no sentido horário e anti-horário, foi difundido (GAVINI et al., 2018).

1.6.1 Reciproc Blue

Os instrumentos Reciproc Blue (figura 2) possuem seção transversal em “S” e são fabricados a partir de uma nova tecnologia de tratamento térmico que resulta em uma camada azul de óxido de titânio em sua superfície conferindo maior flexibilidade e resistência à fadiga cíclica para a liga de NiTi durante o preparo dos canais radiculares (DE DEUS *et al.*, 2017; DE DEUS *et al.*, 2019)

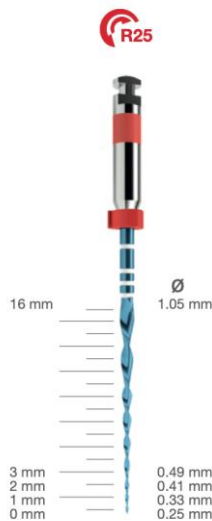


Figura 2. Instrumento Reciproc Blue.

1.6.2 R-Motion

Os instrumentos do sistema R-Motion (figura 3) são produzidos com liga de NiTi que recebe um tratamento térmico do tipo Max-Wire. Tais instrumentos possuem seção transversal triangular e são operados em movimento recíprocante.

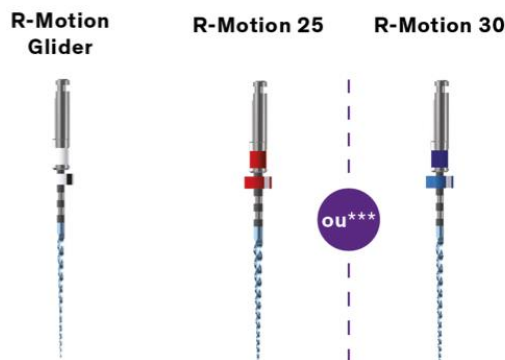


Figura 3. Instrumentos do sistema R-Motion.

1.6.3 VDW.Rotate

Os instrumentos do sistema VDW.Rotate (figura 4) possuem processo de fabricação similar ao sistema Reciproc Blue no que diz respeito à liga e ao tratamento térmico de superfície, no entanto diferem no número de instrumentos (múltiplos

instrumentos vs. lima única), na direção de corte e no tipo de movimento, enquanto o sistema Reciproc é operado de forma recíproca, o sistema VDW.Rotate é acionado por rotação contínua em sentido horário.

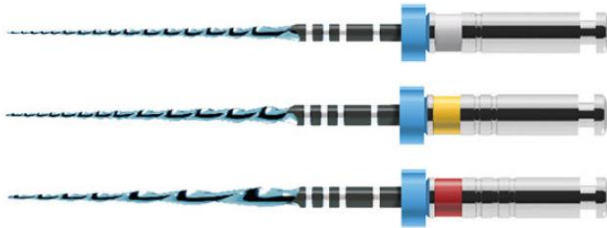


Figura 4. Instrumentos do sistema VDW.Rotate.

1.6.3 RACE EVO

Assim como o sistema R-Motion, os instrumentos RACE EVO (figura 5) são produzidos com liga de NiTi que recebe um tratamento térmico do tipo Max-Wire, com eletropolimento de superfície. Os instrumentos RACE EVO possuem hélices de corte alternadas com seção transversal triangular e são acionados por rotação contínua em sentido horário.

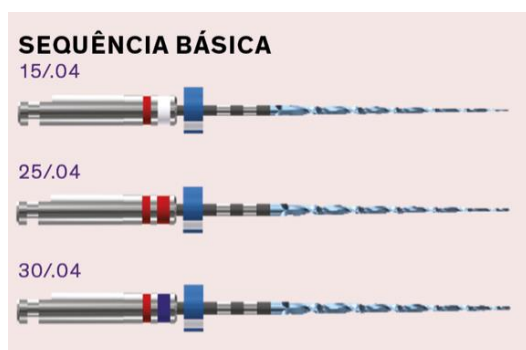


Figura 5. Instrumentos do sistema RACE EVO.

2. JUSTIFICATIVA

O preparo químico-mecânico é um dos fatores mais comumente associados ao sucesso endodôntico. A procura por um instrumento ideal que realize adequado preparo e ampliação do sistema de canais radiculares frente à complexidade anatômica promovendo limpeza e desinfecção é um dos obstáculos da Endodontia contemporânea. Há uma gama de instrumentos de NiTi acionados a motor sendo lançados no mercado, com diferentes diâmetros e conicidades, com a promessa de melhor capacidade de instrumentação dos canais. Diante desta constatação, se faz necessária a busca por instrumentos e sistemas cujos diâmetros e conicidades preparem a maior área possível de paredes do sistema de canais radiculares evitando desgastes desnecessários, visando não somente a sanidade dos tecidos perirradiculares, mas também a resistência do dente tratado endodonticamente, tendo como base a comparação de dados anatômicos obtidos antes e depois da instrumentação a partir de avaliação microtomográfica.

3. HIPÓTESE

As características dos instrumentos endodônticos como conicidade, tipo e tamanho da ponta, seção transversal, ângulo de corte e área de escape assim como suas propriedades mecânicas têm o potencial de influenciar na área de paredes não preparadas durante o preparo químico-mecânico e, por conseguinte, de interferir na limpeza e desinfecção do sistema de canais radiculares e no prognóstico da terapia endodôntica, além de influenciarem na espessura da dentina remanescente e na resistência do remanescente dentário pós-tratamento endodôntico.

4. OBJETIVOS

Este estudo tem por objetivo avaliar o volume e área do canal, áreas de superfície não-preparadas, capacidade de centralização e espessura de dentina remanescente em 48 canais mesiais de molares inferiores classe IV de VERTUCCI a partir da comparação de quatro sistemas mecanizados reciprocantes ou rotatórios, com duas seções transversais distintas, antes e após instrumentação, utilizando a microtomografia computadorizada.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Seleção da amostra

Trinta e quatro molares inferiores foram cedidos pelo Biobanco da Universidade do Grande Rio – Professor José de Souza Herdy (Duque de Caxias, Rio de Janeiro). Destes previamente citados, vinte e quatro dentes foram selecionados segundo os critérios de inclusão: dentes permanentes apresentando rizogênese completa, patência foraminais confirmada com lima C-Pilot® (VDW, Munique, Alemanha) tamanho 10 e características das raízes mesiais compatíveis com a configuração classe IV de VERTUCCI (VERTUCCI, 1984), ou seja, dois canais independentes em toda extensão da câmara pulpar ao ápice radicular, denominados canal méso-vestibular (MV) e canal méso-lingual (ML), grau de curvatura radicular até 25 graus (SHNEIDER, 1971), ausência de fraturas radiculares e terapia endodôntica prévia.

5.2 Escaneamento e análise microtomográfica inicial

Para analisar a anatomia inicial do SCR, toda a amostra foi escaneada no Laboratório de Instrumentação Nuclear da Universidade Federal do Rio de Janeiro, utilizando o microtomógrafo SkyScan 1173 (Bruker Micro-CT, Kontich, Bélgica) para avaliação morfométrica tridimensional quanto ao volume e à área de superfície, à anatomia interna e ao comprimento dos canais. O microtomógrafo (figura 6) foi programado para operar com 40 kV, 200 mA, tendo uma resolução isotrópica de 11.85 µm. Foi utilizado durante os escaneamentos um filtro de alumínio de 1.0 mm de espessura, com tempo de exposição de 1000 ms, passo de rotação de 0.8° e rotação de 360° ao redor do eixo vertical, totalizando cerca de 15 minutos por espécime. Cada elemento da amostra foi fixado em suporte com cera utilidade (Technew, Rio de

Janeiro, RJ, Brasil) e o adequado posicionamento avaliado pelo uso da ferramenta Video Image do programa de controle do microtomógrafo.

Após escaneamento, foi realizada a reconstrução das imagens tridimensionais dos elementos pelo programa NRecon v1.6.6.0 (Bruker Micro-CT, Kontich, Bélgica) e a redução de artefatos. Em seguida os dentes foram pareados e os canais mesiais individualmente analisados e organizados de acordo com a similaridade relacionada à anatomia interna dos mesmos, objetivando uma distribuição uniforme da amostra e, então, divididos em quatro grupos (n=6) de acordo com o sistema escolhido. (figura 7)



Figura 6: Imagem ilustrativa do microtomógrafo SkyScan 1173.

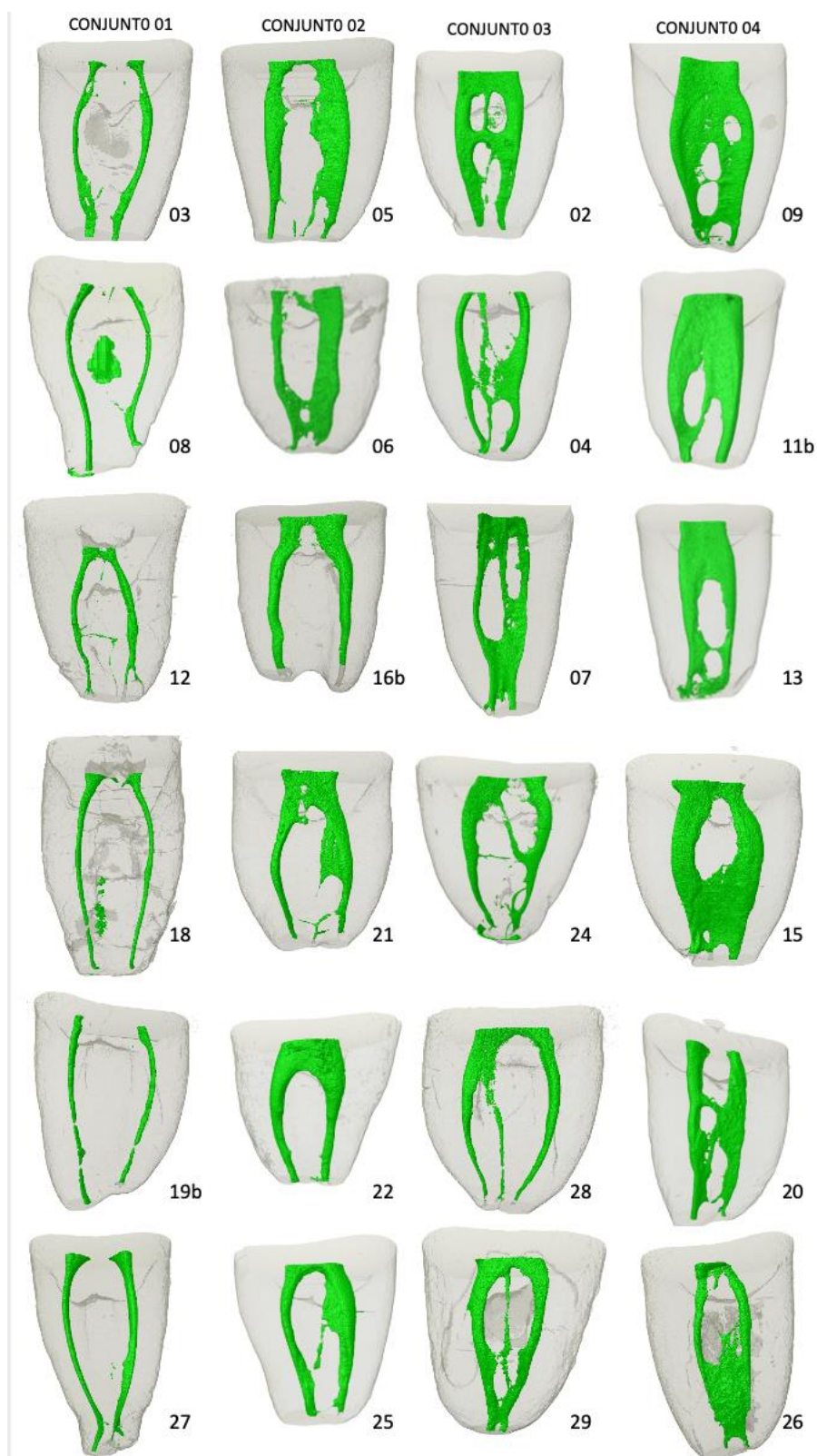


Figura 7: Paramento das amostras por similaridade anatômica

5.3 Acesso e obtenção do comprimento de trabalho

Os dentes foram acessados com brocas esféricas diamantadas 1014 (FG KG Sorensen, São Paulo, SP) acionadas em alta rotação sob refrigeração. O comprimento de trabalho (CT) foi definido a partir da introdução de uma lima C-Pilot® número 10 no interior do canal até que a ponta do instrumento pudesse ser observada no forame apical (figura 8). Esse procedimento foi realizado com auxílio de microscópio eletrônico com aumento de 10x. O cursor da lima foi ajustado na borda oclusal e o instrumento cautelosamente removido do canal. A distância da ponta do instrumento ao cursor foi medida com régua milimetrada (Odous de Deus, Belo Horizonte, Brasil) e da medida obtida foi subtraído 1 mm, obtendo-se, assim, o CT de cada canal. O *glide path* foi realizado com lima C-Pilot® número 15. Durante o PQM, a cada troca de instrumento, uma lima C-Pilot® número 10 foi utilizada para manutenção de patência foraminal.

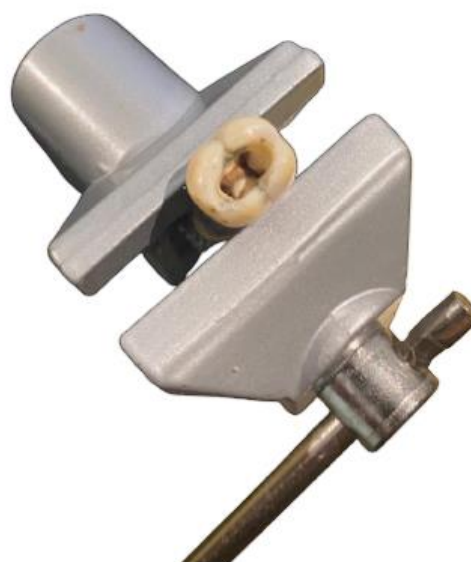


Figura 8 (esquerda): Estabelecimento de patência e comprimento de trabalho da amostra. Figura 9 (direita): Torno de bancada nº 0 para fixação da amostra.

4.4 Instrumentação, irrigação e fluxograma

Os elementos da amostra foram fixados em um torno de bancada nº 0 a fim de garantir melhor controle dos movimentos durante a instrumentação e uma padronização dos preparos (figura 9).

Em seguida, os dentes foram instrumentados por um único operador, especialista em Endodontia, que não teve acesso prévio aos escaneamentos com o objetivo de evitar variáveis interoperadores e o direcionamento manual do instrumento na preparação de paredes que, possivelmente, não seriam preparadas.

Um dente de cada sexteto pareado foi randomicamente designado para um dos três grupos de acordo com o sistema de instrumentação: canais instrumentados com Reciproc Blue R25 (25/.08), R-Motion (15/.03, 30/.04), VDW.Rotate (15/.04, 20/.05, 25/.06, 30/.04), e RACE EVO (15/.04, 25/.04, 30/.04).

O mesmo volume final de irrigante - 13 ml de hipoclorito de sódio (NaOCl) em uma concentração de 2.5% - foi utilizado em todos os grupos e o tempo de ação foi cronometrado a fim de garantir o mesmo tempo de ação final – 3 minutos - em todos os canais independentemente do número de instrumentos ou sistema utilizado. Um fluxograma foi traçado para cada sistema e seguido cautelosamente durante a instrumentação da amostra.

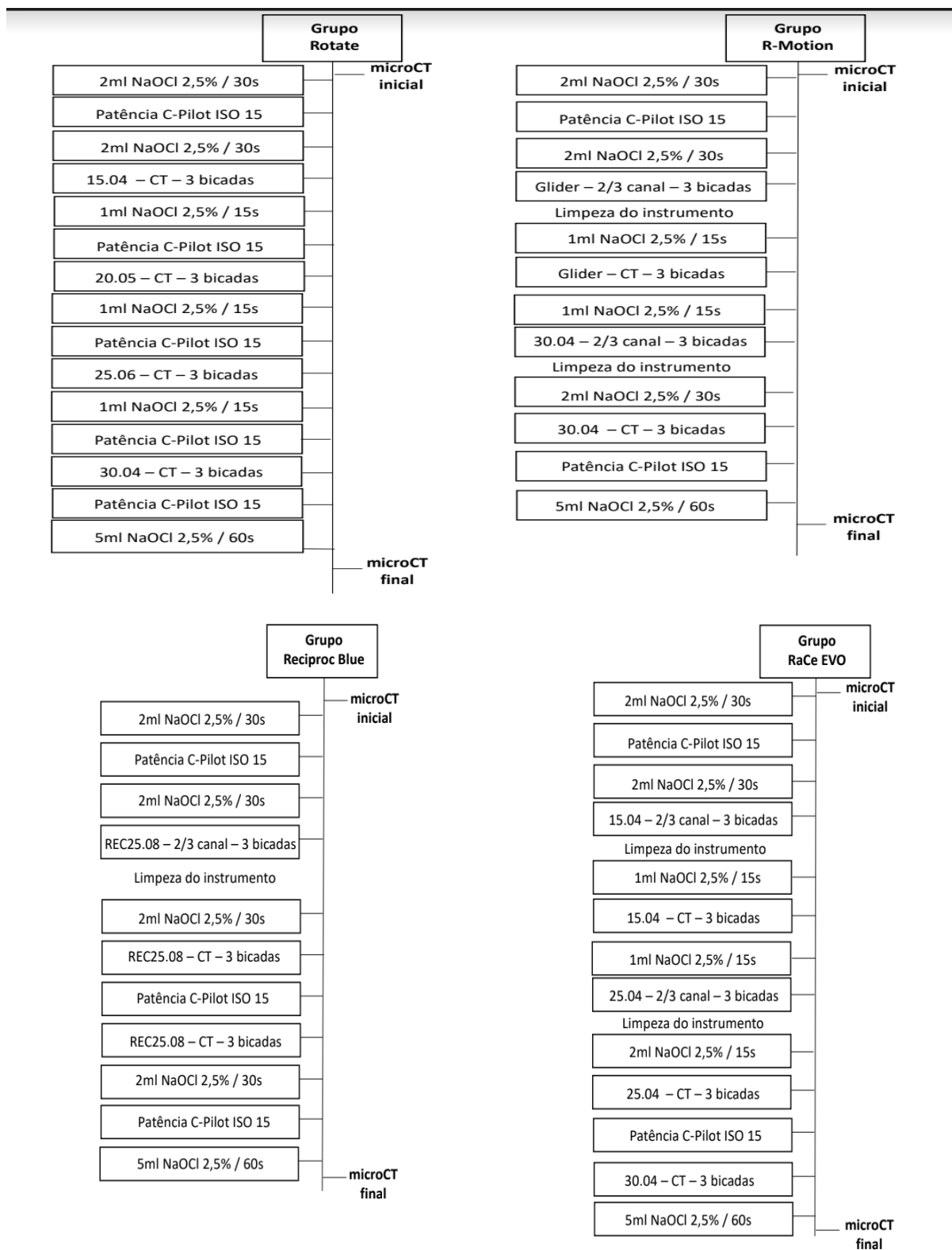


Figura 10: Fluxograma de instrumentação e irrigação da amostra.

5.4.1 Reciproc Blue

Antes da instrumentação com o instrumento Reciproc Blue R25 operado com o motor VDW Silver (VDW GmbH) utilizando a recomendação do fabricante na configuração “RECIPROC ALL”, cada canal foi irrigado com 2mL 2.5% NaOCl e a patência com lima tipo K 15 conferida. Feita nova irrigação com 2mL de NaOCl e, em sequência, instrumentação do canal com a lima Reciproc Blue 25/.08 em movimento de bicadas (*pecking motion*) com amplitude de 3mm; após cada 3 movimentos de bicada, o instrumento era removido e limpo, a patência realizada e uma irrigação com 2mL de NaOCl feita. Quando o instrumento atingiu o comprimento de trabalho, uma irrigação final com 5mL de NaOCl foi realizada.

5.4.2 R-Motion

Os canais foram inicialmente irrigados e a patência foraminal realizada assim como no grupo anterior. Em seguida um instrumento glider 15/.03 foi utilizado em movimento de bicadas até alcançar o comprimento de trabalho. Os instrumentos deste sistema foram acionados no motor VDW Silver na mesma configuração da Reciproc Blue. O instrumento 30/.04 foi utilizado na modelagem dos canais, em um gentil movimento de bicada com amplitude de 3mm até o comprimento de trabalho. O canal foi irrigado com 2mL de NaOCl, o instrumento removido e limpo e a patência conferida. Após o término da instrumentação, uma irrigação final com 5mL de NaOCl foi realizada.

5.4.3 VDW.Rotate

Após protocolo de irrigação inicial e patência foraminal assim como nos outros grupos, um *glide path* foi realizado com instrumento 15/.04 no motor VDW Silver em 350 rpm (1.3 Ncm) em movimento de bicada até o comprimento de trabalho. Em

sequência, sob irrigação, os instrumentos VDW.Rotate 25/.06 e 30/.04 foram utilizados até o comprimento de trabalho em 350 rpm (2.0 Ncm). Após cada instrumento, foi realizada patência e irrigação com 1mL de NaOCl. A irrigação final com 5mL de NaOCl foi realizada após instrumentação.

5.4.4 RACE EVO

Tal qual nos demais grupos, a irrigação inicial e patência foraminal foram realizadas. Em seguida, a instrumentação inicial com o instrumento de *glide* 15/.03 foi feita em movimento de bicada até o comprimento de trabalho. Os instrumentos RACE EVO 25/.04 e 30/.04 foram utilizados até o comprimento de trabalho acionados pelo motor VDW Silver em 1000 rpm (1.5 Ncm).

Em todos os grupos a irrigação foi realizada com um volume total de 13 mL de NaOCl. Um operador especialista em endodontia e com experiência nos sistemas utilizados realizou a instrumentação de toda amostra. Cada instrumento foi utilizado para preparar três canais.

5.5 Avaliação microtomográfica final

Ao fim do PQM, os dentes da amostra foram escaneados novamente com os mesmos parâmetros delineados na seleção da amostra. A reconstrução das imagens realizadas após a instrumentação foram geometricamente corregistradas com as mesmas definições iniciais usando o software 3D Slicer 4.4.0 (<http://.slicer.org>) com uma combinação personalizada de um módulo de registro rígido baseado em semelhanças de intensidade de imagem com precisão superior a 1 voxel. O software CTAn v.1.12 (Bruker Micro-CT) foi utilizado para calcular o volume e a área de superfície do canal radicular.

A superfície não tocada foi avaliada usando o software ImageJ 1.50 (National Institutes Health, Bethesda, MD) calculando o número de voxels estáticos. Todos os valores foram calculados subtraindo os valores dos canais tratados daqueles registrados para os canais não tratados inicialmente e, então, convertidos em porcentagens. As análises incluíram a porção apical de 4mm do canal preparado e o comprimento total do canal (até 10mm do comprimento de trabalho). Todas as análises foram realizadas por um operador diferente daquele que instrumentou os canais e desconhecia os grupos.

O transporte do canal foi estimado a partir do centro de gravidade calculado para cada fatia e conectado ao longo do eixo x com uma linha ajustada em um total de 11.574 VDW.Rotate, 11.465 RACE EVO, 11.414 Reciproc Blue e 11.554 R-Motion seções transversais usando XLSTAT-3Dplot para Windows (Addinsoft, Nova York, NY).

O transporte médio (em mm) foi calculado comparando-se os centros de gravidade antes e após o preparo dos segmentos coronal, médio e apical do canal. Medidas representativas também foram apresentadas graficamente em diagramas.

Para medir o diâmetro do canal antes e depois do preparo comparado ao diâmetro radicular, o software CTAn foi utilizado em 2 níveis: terço médio (considerando o comprimento total do canal) e 3mm abaixo da embocadura do canal. Um possível risco de fratura foi considerado se a largura do canal após a instrumentação correspondesse a mais de 40% da largura da raiz.

5.6 Análises estatísticas

O teste Shapiro-Wilk foi aplicado para verificar a normalidade da amostra. Os testes ANOVA e Kruskal-Wallis foram aplicados de acordo com a distribuição normal e não-normal. O teste WILCOXON foi aplicado para comparar as diferenças

intragrupos nos quesitos volume, área de superfície, áreas não preparadas e espessura canal/raiz antes e depois do preparo. O nível de significância ficou definido em 5% para todos os testes estatísticos realizados ($P < .05$).

6. RESULTADOS

As medidas de volume, área de superfície e áreas não-preparadas antes e depois do preparo químico-mecânico estão demonstradas na Tabela 1. O volume inicial do canal e a área de superfície foram semelhantes entre os grupos ($p>.05$) e aumentaram significativamente após a instrumentação com todos os sistemas testados ($p<.05$). A quantidade de áreas não-preparadas depois da instrumentação em todo canal e no segmento apical foram de, respectivamente, 19% e 13% para VDW.Rotate, 16% e 11% para Reciproc Blue, 14% e 10% para RaCe EVO e 17% e 12% para R-Motion (Figura 11). Não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos em relação às áreas não-preparadas ($p>.05$).

Tabela 1: Volume e área de superfície de canais mesiais de molares inferiores antes e depois da instrumentação com quatro sistemas

Instrument System	Level	Volume (mm ³)	Mean $\pm$ SD	Median	Range	Surface area (mm ²)	Mean $\pm$ SD	Median	Range
VDW.Rotate	Full canal	Initial	2 $\pm$ 1,12	2	1,17 – 5,1	Initial	104577 $\pm$ 59250,09	115617	21632 – 217772
		Final	5 $\pm$ 1,20	5	2,44 – 6,17	Final	18585 $\pm$ 11534,61	18320	2584 – 38055
		%increase	229 $\pm$ 107,82	206	110 – 473,50	%unprepared	19 $\pm$ 6,37	20	7,35 – 28,04
	Apical canal	Initial	1.3 $\pm$ 0.6	1.2	0.7 – 2.9	Initial	44883 $\pm$ 25429,22	49621	9284,12 – 93464,38
		Final	0.5 $\pm$ 0.2	0.5	0.3 – 0.8	Final	5581 $\pm$ 3463,84	5501	775,97 – 11427,93
		%increase	28.1 $\pm$ 12.8	25.4	11.9 – 46.3	%unprepared	13 $\pm$ 4,46	14	5,14 – 19,62
RACE EVO	Full canal	Initial	3 $\pm$ 1,11	2	0,45 – 4,73	Initial	125850 $\pm$ 68866,67	126961	9760 – 258727
		Final	4 $\pm$ 0,99	4	2,10 – 5,54	Final	17582 $\pm$ 14131,53	12267	1870 – 43449
		%increase	184 $\pm$ 94,94	173	100,54 – 466,65	%unprepared	14 $\pm$ 6,39	15	3,69 – 25,10
	Apical canal	Initial	1.2 $\pm$ 0.5	1.1	0.8 – 3.1	Initial	54013 $\pm$ 29556,51	54489	4188,84 – 111041,6
		Final	0.6 $\pm$ 0.2	0.4	0.4 – 0.9	Final	5280 $\pm$ 4243,70	3684	561,56 – 13047,75
		%increase	29.1 $\pm$ 13.2	26.6	12.2 – 47.1	%unprepared	10 $\pm$ 4,47	10	2,58 – 17,56
Reciproc Blue	Full canal	Initial	2 $\pm$ 1,17	2	0,67 – 3,82	Initial	135204 $\pm$ 88159,04	119224	29705 – 301141
		Final	4 $\pm$ 0,91	5	2,93 – 6,18	Final	19133 $\pm$ 15773,22	16134	2416 – 61400
		%increase	302 $\pm$ 184,33	244	120,41 – 649,25	%unprepared	16 $\pm$ 9,26	17	2,65 – 31,51
	Apical canal	Initial	3.6 $\pm$ 0.6	3.5	2.3 – 5.2	Initial	58960 $\pm$ 37122,9	51169	12748,93 – 129245,1
		Final	1.9 $\pm$ 0.6	1.6	0.8 – 2.6	Final	5908 $\pm$ 4693,90	5374	725,52 – 18438,44
		%increase	48.0 $\pm$ 11.8	48.1	2.8 – 4.9	%unprepared	11 $\pm$ 6,52	12	1,85 – 22,05
R-Motion	Full canal	Initial	2 $\pm$ 0,69	2	1,07 – 3,18	Initial	138899 $\pm$ 48534,35	136275	79645 – 235691
		Final	4 $\pm$ 1,48	3	1,95 – 5,95	Final	22854 $\pm$ 10393,07	19164	10393 – 46814
		%increase	170 $\pm$ 36,10	161	125,66 – 224,52	%unprepared	17 $\pm$ 5,24	16	6,99 – 24,15
	Apical canal	Initial	1.9 $\pm$ 0.4	1.7	1.2 – 2.9	Initial	59613 $\pm$ 20830,19	58487	34182,4 – 101154,9
		Final	0.6 $\pm$ 0.2	0.6	0.4 – 0.9	Final	6863 $\pm$ 3121,04	5755	3121,02 – 14058,26
		%increase	30.2 $\pm$ 10.4	26.5	18.4 – 56.4	%unprepared	12 $\pm$ 3,67	11	4,89 – 16,90

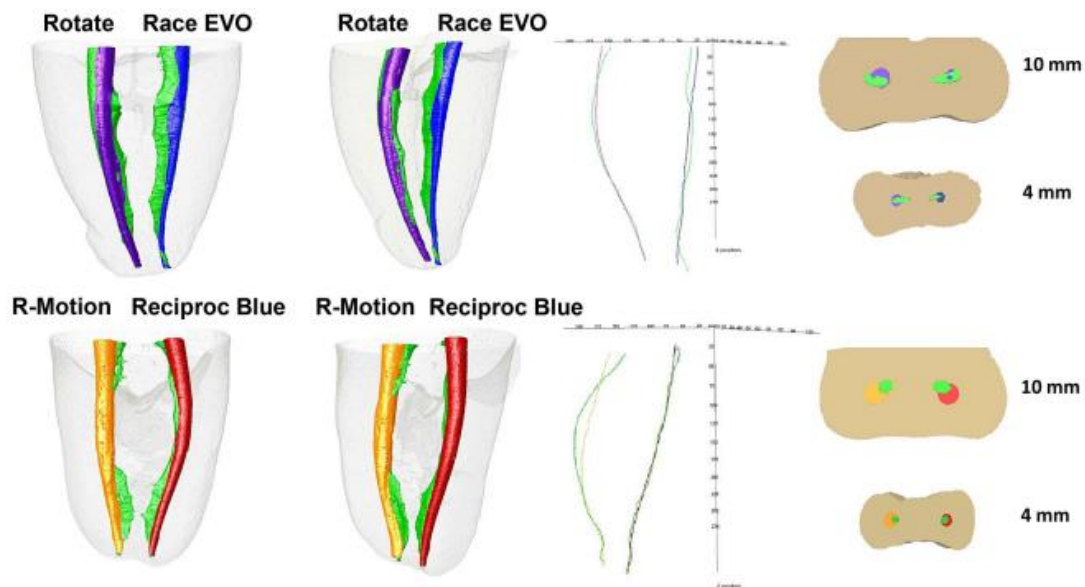


Figura 11: Representação 3D dos escaneamentos de micro-CT realizados antes (verde) e após a instrumentação utilizando os sistemas VDW.Rotate (roxo), RaCe EVO (azul), R-Motion (laranja) e Reciproc Blue (vermelho). As imagens sobrepostas em verde mostram as áreas não preparadas. O gráfico mostra o desvio do canal avaliado a partir da variação do centro de gravidade antes (verde) e após a instrumentação do canal com cana sistema. As imagens da seção transversal demonstram as representações do transporte do canal em 10 mm e 4 mm.

A variação no centro de gravidade não apresentou relação estatisticamente significativa entre os grupos ($p > .05$). Os resultados variaram de 0.01 a 0.45 mm para VDW.Rotate, 0.03 a 0.062 para RaCe EVO, 0.03 a 0.41 mm para Reciproc Blue e 0.08 a 0.29 mm para R-Motion. (Tabela 2).

Tabela 2: Centro de gravidade (mm) dos canais radiculares após instrumentação utilizando dois sistemas distintos

Instrument system	Level	Mean $\pm$ SD	Median	Range
VDW.Rotate	Full canal length	0.17 $\pm$ 0.16	0.11	0.01-0.45
RACE EVO	Full canal length	0.18 $\pm$ 0.17	0.10	0.03-0.62
Reciproc Blue	Full canal length	0.15 $\pm$ 0.11	0.11	0.03-0.41
R-Motion	Full canal length	0.19 $\pm$ 0.73	0.20	0.08-0.29

A espessura do canal radicular em relação à raiz foi significativamente ampliada por todos os sistemas avaliados ($p < .01$). Não houve diferença estatisticamente relevante entre os grupos quando a espessura do canal radicular antes e depois da instrumentação foi comparada nos níveis 0 e 4 mm do ápice à embocadura do canal

radicular ($p>.05$). Na amostra a espessura do canal excedeu 40% da espessura radicular (Tabela 3).

Tabela 3: Espessura canal/raiz antes e depois da instrumentação com os quatro sistemas

Instrument System	Level	Width (mm)	Mean $\pm$ SD	Median	Range
VDW.Rotate	0mm (coronal canal opening)	Initial canal	0,88 $\pm$ 0,19	0,88	0,52 - 1,22
		Prepared canal	1,13 $\pm$ 0,20	1,09	0,72 - 1,44
		Root	4,19 $\pm$ 0,47	4,16	3,43 - 5,15
		%prepared canal/root	24,98 $\pm$ 4,06	24,16	19,30 - 32,65
	4mm (below coronal canal opening)	Initial canal	0,51 $\pm$ 0,14	0,52	0,33 - 0,78
		Prepared canal	0,78 $\pm$ 0,11	0,77	0,60 - 0,95
		Root	3,45 $\pm$ 0,17	3,49	3,09 - 3,80
		%prepared canal/root	21,85 $\pm$ 3,08	21,43	16,90 - 26,76
RACE EVO	0mm (coronal canal opening)	Initial canal	0,87 $\pm$ 0,31	0,93	0,30 - 1,30
		Prepared canal	1,22 $\pm$ 0,21	1,21	0,93 - 1,66
		Root	4,21 $\pm$ 0,41	4,21	3,43 - 4,91
		%prepared canal/root	27,63 $\pm$ 4,26	27,43	21,78 - 35,85
	4mm (below coronal canal opening)	Initial canal	0,47 $\pm$ 0,09	0,48	0,29 - 0,59
		Prepared canal	0,87 $\pm$ 0,11	0,87	0,69 - 1,02
		Root	3,39 $\pm$ 0,56	3,37	2,20 - 4,13
		%prepared canal/root	24,46 $\pm$ 4,97	25,34	15,94 - 34,11
Reciproc Blue	0mm (coronal canal opening)	Initial canal	0,74 $\pm$ 0,19	0,74	0,44 - 1,04
		Prepared canal	1,04 $\pm$ 0,16	1,01	0,85 - 1,40
		Root	4,01 $\pm$ 0,57	3,95	3,28 - 5,11
		%prepared canal/root	24,17 $\pm$ 3,39	24,34	18,81 - 29,40
	4mm (below coronal canal opening)	Initial canal	0,43 $\pm$ 0,08	0,44	0,26 - 0,56
		Prepared canal	0,80 $\pm$ 0,14	0,84	0,53 - 0,97
		Root	3,12 $\pm$ 0,48	3,12	2,09 - 4,07
		%prepared canal/root	24,38 $\pm$ 3,86	24,92	19,06 - 31,70
R-Motion	0mm (coronal canal opening)	Initial canal	0,92 $\pm$ 0,23	0,95	0,48 - 1,23
		Prepared canal	1,12 $\pm$ 0,18	1,11	0,85 - 1,42
		Root	4,21 $\pm$ 0,47	4,08	3,49 - 5,03
		%prepared canal/root	25,39 $\pm$ 4,69	25,50	17,86 - 33,25
	4mm (coronal canal opening)	Initial canal	0,51 $\pm$ 0,15	0,50	0,18 - 76
		Prepared canal	0,84 $\pm$ 0,09	0,81	0,65 - 0,97
		Root	3,33 $\pm$ 0,58	3,35	2,31 - 4,18
		%prepared canal/root	24,11 $\pm$ 5,18	22,68	18,54 - 36,05

7. DISCUSSÃO

Os instrumentos endodônticos são utilizados para preparar os canais radiculares e sua capacidade de limpeza e desinfecção dependem diretamente do quão efetiva foi a modelagem dos canais (PÉREZ *et al.*, 2020). Além disso, uma modelagem inadequada pode aumentar as chances de acidoses e tornar a raiz mais suscetível à fratura e, por conseguinte, à perda do elemento dentário (PAQUE *et al.*, 2009). Conforme novos sistemas são frequentemente lançados no mercado, a avaliação da performance desses instrumentos se faz necessária. Este estudo comparou quatro diferentes sistemas de NiTi, três dos quais não haviam sido avaliados por sua capacidade de instrumentação. Esses instrumentos foram incluídos também por apresentarem designs da seção transversal e modos de acionamento semelhantes, da seguinte forma: Reciproc Blue sendo um sistema reciprocante com seção transversal em S, R-Motion sendo um sistema reciprocante com seção transversal triangular, VDW.Rotate sendo um sistema rotatório com seção transversal em S adaptada, e RaCe EVO sendo um sistema rotatório com seção transversal triangular.

As raízes mesiais de molares inferiores com classificação de Vertucci tipo IV foram selecionados para este estudo. A vantagem de se utilizar este tipo de configuração radicular se dá pela possibilidade de se instrumentar dois canais independentes, com anatomias internas semelhantes, com dois sistemas distintos. As raízes foram selecionadas de acordo com similaridade anatômica e, como quatro sistemas diferentes foram utilizados, eles foram alternados de uma raiz para a outra. Uma vez que dentes naturais com características anatômicas particulares foram utilizados na amostra, essa abordagem visou reduzir os possíveis vieses. (BRASIL *et al.*, 2017; SILVEIRA *et al.*, 2018).

Biofilmes bacterianos e tecido remanescente podem permanecer nas áreas não preparadas do canal radicular (SIQUEIRA *et al.*, 2013; ZHAO *et al.*, 2014). Consequentemente, o volume de áreas não preparadas se apresenta como um dos principais parâmetros utilizados para avaliação da performance de instrumentação de instrumentos em estudos de micro-CT (PETERS *et al.*, 2015; SIQUEIRA *et al.*, 2013, 2018). A quantidade de áreas não preparadas variou de 14% a 19% no presente estudo dependendo do sistema utilizado. Esse resultado pode ser considerado satisfatório se comparado a outros estudos de micro-CT em molares inferiores que apresentaram, por sua vez, valores entre 11%-48% (DA SILVA LIMOEIRO *et al.*, 2016; MARKVART *et al.*, 2012; PETERS *et al.*, 2015; SIQUEIRA *et al.*, 2013; WEIGER *et al.*, 2006). Não houve correlação aparente entre as áreas não preparadas e os outros parâmetros avaliados.

O presente estudo não demonstrou diferença significativa no percentual de áreas não preparadas após preparo dos canais radiculares com os quatro sistemas independentemente do tipo de acionamento (reciprocante ou rotatório) ou do design da seção transversal (em S ou triangular). A razão para tal resultado pode estar relacionada ao fato de que todos os sistemas utilizados foram do mesmo diâmetro (30/04), exceto para Reciproc Blue que apresentou o tip de 25, porém com aumento do taper nos 3mm apicais, o que resulta em uma compensação da diferença para os demais sistemas.

O fato desses instrumentos serem fabricados a partir de ligas de NiTi aprimoradas pode ter contribuído também para a similaridade das performances entre os sistemas que apresentam, inclusive, o tratamento térmico de superfície como um fator em comum. Os benefícios desse tipo de tratamento em termos de eficiência e segurança são bem estabelecidos pela literatura, provando ser um dos mais

importantes avanços na fabricação de instrumentos endodônticos (ARIAS & PETERS, 2022; SHEN *et al.*, 2013).

O transporte do canal também foi avaliado de acordo com as variações dos centros de gravidade. Os resultados encontrados demonstram que os quatro sistemas utilizados apresentaram performances semelhantes e causaram um desvio mínimo do centro de gravidade sem diferença significativa entre eles. Os motivos para tais resultados são os mesmos discutidos anteriormente para as áreas não preparadas.

A ampliação do canal radicular pode representar uma maior propensão à fratura e, por motivos de segurança, foi sugerido pela literatura que esta ampliação não excedesse 40% da espessura radicular (WILCOX *et al.*, 1997). Baseado neste parâmetro, os quatro sistemas avaliados podem ser considerados seguros para o a instrumentação de raízes mesiais de molares inferiores, tendo em vista que nenhuma amostra apresentou um alargamento do diâmetro do canal, nos terços médio e coronário, maior do que 36%. Não foi observada diferença estatisticamente significativa entre os diferentes sistemas avaliados neste estudo.

8. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo demonstraram que tanto os instrumentos de NiTi reciprocantes quanto os rotários, com seção transversal em S ou triangular, performaram de forma igualmente satisfatória na modelagem de canais mesiais com configuração anatômica tipo IV de Vertucci de molares inferiores.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adorno CG, Yoshioka T, Suda. The effect of working length and root canal preparation technique on crack development in the apical root canal wall. *Int Endod J*. 2010 Apr;43(4):321-7.

Alves FR, Almeida BM, Neves MA, Rôças IN, Siqueira JF Jr. Time-dependent antibacterial effects of the self-adjusting file used with two sodium hypochlorite concentrations. *J Endod*. 2011 Oct;37(10):1451-5.

Alves FR, Almeida BM, Neves MA, Moreno JO, Rôças IN, Siqueira JF Jr. Disinfecting oval-shaped root canals: effectiveness of different supplementary approaches. *J Endod*. 2011b Apr;37(4):496-501.

Alves FR, Andrade-Junior CV, Marceliano-Alves MF, Pérez AR, Rôças IN, Versiani MA, Sousa-Neto MD, Provenzano JC, Siqueira JF Jr. Adjunctive Steps for Disinfection of the Mandibular Molar Root Canal System: A Correlative Bacteriologic, Micro-Computed Tomography, and Cryopulverization Approach. *J Endod*. 2016 Nov;42(11):1667-1672.

Bóveda C, Kishen A (2015). Contracted endodontic cavities: the foundation for less invasive alternatives in the management of apical periodontitis. *Endod Topics* 33:169-186.

Buchanan LS. The standardized-taper root canal preparation--Part 1. Concepts for variably tapered shaping instruments. *Int Endod J*. 2000 Nov;33(6):516-29.

Byström A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scand J Dent Res*. 1981 Aug;89(4):321-8.

Clark D, Khademi J. Modern molar endodontic access and directed dentin conservation. *Dent Clin North Am*. 2010 Apr;54(2):249-73.

Dalton BC, Orstavik D, Phillips C, Pettiette M, Trope M. Bacterial reduction with nickel-titanium rotary instrumentation. *J Endod*. 1998 Nov;24(11):763-7.

De Deus QD. Frequency, location, and direction of the lateral, secondary, and accessory canals. *J Endod*. 1975 Nov;1(11):361-6.

De-Deus G, Silva EJ, Vieira VT, Belladonna FG, Elias CN, Plotino G, Grande NM. Blue Thermomechanical Treatment Optimizes Fatigue Resistance and Flexibility of the Reciproc Files. *J Endod*. 2017 Mar;43(3):462-466.

De-Deus G, Cardoso ML, Belladonna FG, Cavalcante DM, Simões-Carvalho M, Souza EM, Lopes RT, Silva EJNL. Performance of Reciproc Blue R25 Instruments in Shaping the Canal Space without Glide Path. *J Endod*. 2019 Feb;45(2):194-198.

Dietrich MA, Kirkpatrick TC, Yaccino JM. In vitro canal and isthmus debris removal of the self-adjusting file, K3, and WaveOne files in the mesial root of human mandibular molars. *J Endod*. 2012 Aug;38(8):1140-4.

Estrela C, Figueiredo JAP. *Endodontia: princípios biológicos e mecânicos*. São Paulo, SP: Artes Médicas, 818p, 1999.

Gambarini G, Plotino G, Grande NM, Al-Sudani D, De Luca M, Testarelli L. Mechanical properties of nickel-titanium rotary instruments produced with a new manufacturing technique. *Int Endod J*. 2011 Apr;44(4):337-41.

Gavini G, Santos MD, Caldeira CL, Machado MEL, Freire LG, Iglecias EF, Peters OA, Candeiro GTM. Nickel-titanium instruments in endodontics: a concise review of the state of the art. *Braz Oral Res.* 2018 Oct 18;32(suppl 1):e67.

Gutmann JL, Gao . Alteration in the inherent metallic and surface properties of nickel-titanium root canal instruments to enhance performance, durability and safety: a focused review. *Int Endod J.* 2012 Feb;45(2):113-28.

Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A. Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *Int Endod J.* 2003 Dec;36(12):810-30.

Hülsmann M, Peters OA, Dummer PMH. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endod Topics.* 2005;10(1):30-76.

Metzger Z. The self-adjusting file (SAF) system: An evidence-based update. *J Conserv Dent.* 2014 Sep;17(5):401-19.

Nair PN, Henry S, Cano V, Vera J. Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after "one-visit" endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005 Feb;99(2):231-52.

Nielsen RB, Alyassin AM, Peters DD, Carnes DL, Lancaster J. Microcomputed tomography: an advanced system for detailed endodontic research. *J Endod.* 1995 Nov;21(11):561-8.

Pereira HSC, Silva EJNL, Filho TSC. Reciprocating movement in endodontics: literature review. *Rev. bras. odontol.*, Rio de Janeiro, v. 69, n. 2, p. 246-9, jul./dez.2012

Pérez AR, Alves FRF, Marceliano-Alves MF, Provenzano JC, Gonçalves LS, Neves AA, Siqueira JF Jr. Effects of increased apical enlargement on the amount of

unprepared areas and coronal dentine removal: a micro-computed tomography study. *Int Endod J*. 2018 Jun;51(6):684-690.

Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod*. 2004 Aug;30(8):559-67.

Peters OA, Laib A, Rügsegger P, Barbakow F. Three-dimensional analysis of root canal geometry by high-resolution computed tomography. *J Dent Res*. 2000 Jun;79(6):1405-9.

Peters OA, Arias A, Paqué F. A Micro-computed Tomographic Assessment of Root Canal Preparation with a Novel Instrument, TRUShape, in Mesial Roots of Mandibular Molars. *J Endod*. 2015 Sep;41(9):1545-50.

Ribeiro MV, Silva-Sousa YT, Versiani MA, Lamira A, Steier L, Pécora JD, de Sousa-Neto MD. Comparison of the cleaning efficacy of self-adjusting file and rotary systems in the apical third of oval-shaped canals. *J Endod*. 2013 Mar;39(3):398-401.

Ricucci D, Siqueira JF Jr. Anatomic and microbiologic challenges to achieving success with endodontic treatment: a case report. *J Endod*. 2008 Oct;34(10):1249-54.

Ricucci D, Russo J, Rutberg M, Burleson JA, Spångberg LS. A prospective cohort study of endodontic treatments of 1,369 root canals: results after 5 years. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2011 Dec;112(6):825-42.

Rôças IN, Lima KC, Siqueira JF Jr. Reduction in bacterial counts in infected root canals after rotary or hand nickel-titanium instrumentation--a clinical study. *Int Endod J*. 2013 Jul;46(7):681-7.

Tinoco JM, De-Deus G, Tinoco EM, Saavedra F, Fidel RA, Sassone LM. Apical extrusion of bacteria when using reciprocating single-file and rotary multifile instrumentation systems. *Int Endod J*. 2014 Jun;47(6):560-6.

Shen, Qian , Abtin , Gao , Haapasalo M. Fatigue testing of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. *J Endod*. 2011 Jul;37(7):997-1001.

Siqueira JF Jr. Treatment of endodontic infections. 1st ed. London: Quintessence Publishing, 2011, 403 p.

Siqueira JF Jr, Rôças IN. Polymerase chain reaction-based analysis of microorganisms associated with failed endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2004 Jan;97(1):85-94.

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

Siqueira JF Jr, Lima KC, Magalhães FA, Lopes HP, de Uzeda M. Mechanical reduction of the bacterial population in the root canal by three instrumentation techniques. *J Endod*. 1999 May;25(5):332-5.

Siqueira JF Jr, Alves FR, Almeida BM, de Oliveira JC, Rôças IN. Ability of chemomechanical preparation with either rotary instruments or self-adjusting file to disinfect oval-shaped root canals. *J Endod*. 2010 Nov;36(11):1860-5.

Siqueira JF Jr, Rôças IN, Ricucci D. Biofilms in endodontic infection. *Endodontic Topics* 2012; 22:33-49.

Siqueira JF Jr, Pérez AR, Marceliano-Alves MF, Provenzano JC, Silva SG, Pires FR, Vieira GCS, Rôças IN, Alves FRF. What happens to unprepared root canal walls: a

correlative analysis using micro-computed tomography and histology/scanning electron microscopy. *Int Endod J*. 2018a May;51(5):501-508.

Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J*. 2000 Jul;33(4):297-310.

Vera J, Siqueira JF Jr, Ricucci D, Loghin S, Fernández N, Flores B, Cruz AG. One-versus two-visit endodontic treatment of teeth with apical periodontitis: a histobacteriologic study. *J Endod*. 2012 Aug;38(8):1040-52.

Versiani MA, Leoni GB, Steier L, De-Deus G, Tassani S, Pécora JD, de Sousa-Neto MD. Micro-computed tomography study of oval-shaped canals prepared with the self-adjusting file, Reciproc, WaveOne, and ProTaper universal systems. *J Endod*. 2013 Aug;39(8):1060-6.

Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1984 Nov;58(5):589-99.

Villas-Bôas MH, Bernardineli N, Cavenago BC, Marciano M, Del Carpio-Perochena A, de Moraes IG, Duarte MH, Bramante CM, Ordinola-Zapata R. Micro-computed tomography study of the internal anatomy of mesial root canals of mandibular molars. *J Endod*. 2011 Dec;37(12):1682-6.

Walton RE, Vertucci FJ (1997). Anatomia interna. In: Walton R, Torabinejad M. *Princípios e prática em endodontia*. São Paulo, Santos: Elsevier, 166-179.

Weiger R, Bartha T, Kalwitzki M, Löst C. A clinical method to determine the optimal apical preparation size. Part I. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2006 Nov;102(5):686-91.

Wu MK, Wesselink PR, Walton RE. Apical terminus location of root canal treatment procedures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2000a Jan;89(1):99-103.

Wu MK, R'oris A, Barkis D, Wesselink PR. Prevalence and extent of long oval canals in the apical third. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2000b Jun;89(6):739-43.

Ye J, Gao. Metallurgical characterization of M-Wire nickel-titanium shape memory alloy used for endodontic rotary instruments during low-cycle fatigue. *J Endod.* 2012 Jan;38(1):105-7.

Young GR, Parashos P, Messer . The principles of techniques for cleaning root canals. *Aust Dent J.* 2007 Mar;52(1 Suppl):S52-63.

Zelic K, Vukicevic A, Jovicic G, Aleksandrovic S, Filipovic N, Djuric M. Mechanical weakening of devitalized teeth: three-dimensional Finite Element Analysis and prediction of tooth fracture. *Int Endod J.* 2015 Sep;48(9):850-63.

Received: 13 June 2022 | Accepted: 15 September 2022

DOI: 10.1111/iej.13834

ORIGINAL ARTICLE

INTERNATIONAL
ENDODONTIC JOURNAL | WILEYShaping ability of new reciprocating or rotary instruments with two cross-sectional designs: An *ex vivo* studyIsabela G. Guedes¹ | Renata C. V. Rodrigues^{1,2} | Marília F. Marceliano-Alves³ | Flávio R. F. Alves^{1,3} | Isabela N. Rôças^{1,3} | José F. Siqueira Jr.^{1,3}¹Postgraduate Program in Dentistry, University of Grande Rio (UNIGRANRIO), Rio de Janeiro, Brazil²Faculty of Dentistry, Veiga de Almeida University, Rio de Janeiro, Brazil³Department of Dental Research, Faculty of Dentistry, Iguaçu University (UNIG), Nova Iguaçu, Brazil

Correspondence

Flávio R. F. Alves, Rua Professor José de Souza Herdy, 1160, Duque de Caxias, RJ 25071-202, Brazil.
Email: flavioferreiraalves@gmail.com

Funding information

CNPq; FAPERJ

Abstract

Aim: This study compared the shaping ability of four new reciprocating and rotary nickel-titanium instruments, with triangular or S-shaped cross-section, in the mesial canals of mandibular molars using micro-computed tomographic (micro-CT) evaluation.**Methodology:** Twenty-four extracted mandibular molars with Vertucci's class IV configuration in the mesial root were selected for this study. The teeth were matched in fours according to anatomic similarities as revealed by micro-CT and then distributed into four groups of 12 mesial canals each according to the instrumentation technique: Reciproc Blue, R-motion, VDW.Rotate and RaCe EVO. The final apical size of instrumentation was 30/0.04 for three systems and 25/08 for the Reciproc Blue instrument. Micro-CT scans were taken before and after preparation to evaluate the canal volume, area and unprepared surface areas, as well as the centring ability, and the canal: root width ratio.**Results:** Preparation with all systems significantly increased the volume and area of the canals ($p < .05$). There were no significant differences between groups regarding the amount of unprepared areas in both the apical and full canal lengths ($p > .05$). Variation in the centre of gravity showed no significant difference between groups either ($p > .05$). The canal: root width ratio at levels 0 and 4 mm apically to the coronal canal opening was significantly increased by all systems ($p < .01$), with no significant differences between groups ($p > .05$). The canal width never exceeded 40% of the root width.**Conclusions:** Reciprocating or rotary instruments, with a triangular or an S-shaped cross-section, performed equally in shaping Vertucci's class IV mesial canals of mandibular molars.

KEYWORDS

micro-computed tomography, root canal preparation, root canal shaping

INTRODUCTION

Chemomechanical preparation is aimed to clean, disinfect and shape the root canal (Siqueira & Lopes, 2022). Shaping curved root canals and teeth with complex internal anatomy represents a challenge for clinicians, as there is an increased risk of procedural errors, including transportation, ledge formation and perforation (Siqueira et al., 2018). As a consequence, cleaning and disinfection are also negatively affected, resulting in bacterial persistence in the canal system that may compromise the treatment outcome of teeth with apical periodontitis (Siqueira & Rôças, 2008).

Apical canal preparation should be large enough to permit adequate cleaning and infection control (Pacheco-Yanes et al., 2022), but coronal enlargement should be conducted meticulously to avoid weakening the root. Studies have shown that preservation of coronal dentine significantly reduced the concentration of tensile forces and the risk of root fracture (da Silva et al., 2020; Wang et al., 2020). Some nickel-titanium (NiTi) instrument systems have been developed with the purpose of improving the preparation of curved canals with decreased risks of accidents (Gavini et al., 2018). Most current instruments are used either in reciprocating or continuous rotary motion, with different cross-sectional shapes, and studies are somewhat inconclusive as to which one provides better results in terms of shaping (da Silva et al., 2021; Medeiros et al., 2021; Nagendrababu & Ahmed, 2019; Rubio et al., 2017).

Several instrument systems have been recently released, but information about their shaping ability is limited or absent. The Reciproc Blue R25 instrument (VDW) is manufactured from a new heat treatment technology that results in a blue titanium oxide layer on its surface, with increased flexibility and cyclic fatigue resistance. This instrument has an S-shaped cross-section, and some studies have already reported satisfactory results on their shaping ability (Belladonna et al., 2018; De-Deus et al., 2019; Pérez et al., 2020). The VDW.Rotate instrument (VDW) has manufacturing similarities to the Reciproc Blue instrument. However, the systems show differences related to the number of instruments used (multifile vs. single-file), blade cutting direction, and type of motion (continuous clockwise rotation for VDW.Rotate and reciprocation for Reciproc Blue). The R-Motion instrument (FKG Dentaire) has a triangular cross-section made of NiTi thermal treatment Max-Wire, and is operated in reciprocating motion. The RaCe EVO instrument (FKG Dentaire) is also manufactured from a heat-treated Max-Wire NiTi alloy, with electropolished surface, alternate cutting edges with triangular cross-sectional

design (Al Omari et al., 2021), and is used in continuous clockwise rotation. Whilst already available in the market, the shaping abilities of the new systems R-Motion, RaCe EVO and VDW.Rotate remain to be evaluated and compared.

Three-dimensional (3D) evaluations are necessary to enable a more accurate comparison of the shaping ability of instruments. At present, micro-computed tomographic (micro-CT) imaging has been generally considered as the best standard for evaluating the effects of preparation on canal anatomy and for quantitative and qualitative morphologic analyses of root canals (Marcelliano-Alves et al., 2015; Siqueira et al., 2013; Versiani et al., 2013). Therefore, the present study intended to evaluate and compare the shaping ability of four new instruments, having an S- or triangular cross-sectional shape, used in either reciprocating or rotary motion. The null hypothesis was that there is no difference in the shaping ability amongst the tested instruments.

MATERIALS AND METHODS

Specimen selection and Initial micro-CT scanning

Approval for the study protocol was obtained from the institutional Ethics Committee for human research. The manuscript of this laboratory study has been written according to Preferred Reporting Items for Laboratory studies in Endodontology (PRILE) 2021 guidelines (Nagendrababu et al., 2021). Sample size calculation was performed using the G*Power 3.1 software (Heinrich Heine Universität) with an alpha-type error of 0.05 and 95% power, which revealed that at least 12 canals per group were required. Therefore, 24 mandibular molars with fully formed apices were selected from a collection of 255 mandibular molars extracted for reasons not associated with this study. Only molars with mesial roots classified as Vertucci's type IV (Vertucci, 1984) and curvature ranging from 20°–40° were included. The selection was initially carried out based on radiographs taken in both buccolingual and mesiodistal directions, exploration with small files after access preparation, and finally confirmed by micro-CT imaging (see below). The specimens were matched according to the anatomical aspects of the mesial canals, including curvature, volume and surface area, as assessed by micro-CT and then randomly distributed in four groups of 12 root canals in such a way that the mesiobuccal (MB) and the mesiolingual (ML) canals from the same root were instrumented by different

instruments, alternating the systems per specimen. At the end, each instrument system was used to prepare 6 MB and 6 MI canals. This distribution was made to minimize anatomic discrepancies.

Endodontic access cavities were prepared, and the working length (WL) was set 1.0 mm short of the apical foramen. Next, the teeth were adapted to a custom attachment and scanned in a micro-CT scanner (SkyScan 1173; Bruker Micro-CT) at 40 Kv, 200 mA, a pixel size of 11.85 μm , 360° around the vertical axis, and a rotation step of 0.8 using a 1.0-mm-thick aluminium filter. The NRecon v.1.6.9 software (Bruker-microCT) was used to reconstruct the images of mesial roots with a ring artefact correction of 5, a beam hardening rectification of 50%, and smoothing of 5 to create axial and transverse slices of the internal anatomy of all root canals. The homogeneity of the morphologic data (volume and surface area) for the 48 mesial canals was confirmed statistically ($p > .05$).

Root canal preparation

Reciproc Blue: Reciprocation, S-shaped

Before preparation with the Reciproc Blue R25 instrument operated with VDW Silver Motor (VDW GmbH) using the manufacturer's preset configuration "RECIPROC ALL," each root canal was irrigated with 2 ml 2.5% NaOCl, the apical foramen patency checked with a K-type file size 15, and another irrigation with 2 ml of NaOCl was performed. In sequence, the root canal was instrumented using the Reciproc Blue R25 file in a pecking motion with a 3-mm amplitude; after three pecking movements, the instrument was removed from the canal and cleaned, patency was confirmed, and the root canal was irrigated with 2 ml of NaOCl. When the Reciproc Blue R25 instrument reached the WL, a final irrigation with 5 ml of NaOCl was carried out.

R-Motion: Reciprocation, triangular

The root canals were initially irrigated and the apical foramen patency was checked as in the Reciproc Blue group. After that, a 15/0.03 glider instrument was used in pecking motion until the WL was reached. The R-motion instruments were operated in the VDW Silver Motor using the same preset configuration of the Reciproc Blue. The R-Motion 30/0.04 instrument was used for shaping the root canals with a gentle in-and-out pecking motion with 3-mm amplitude up to the WL. The canal was irrigated with 2 ml NaOCl, the instrument was removed and

cleaned, and apical patency was confirmed. After preparation, a final irrigation with 5 ml of NaOCl was performed.

VDW.Rotate system: Rotary, S-shaped

After the initial protocol of irrigation and apical patency as performed in the other groups, a glide path was created in the canal using a 15/0.04 instrument operated in the VDW Silver motor at 350 rpm (1.3 Ncm) in pecking motion up to the WL. Afterwards, under continuous irrigation, the VDW.Rotate instruments (sizes 25/0.06 and 30/0.04) were used up to the WL at 350 rpm (2.0 Ncm). The patency was confirmed and the root canal was rinsed with 1 ml 2.5% NaOCl after each instrument size.

RaCe EVO System: Rotary, triangular

The initial irrigation and apical patency were performed as in the other groups, and an initial preparation was conducted with a 15/0.03 glider instrument in pecking motion to the WL. Next, the RaCe EVO instruments (sizes 25/0.04 and 30/0.04) were used until they reached the WL. The instruments were driven at 1000 rpm (1.5 Ncm) in the VDW Silver motor.

In all groups, irrigation was performed using a total volume of 13 ml 2.5% NaOCl. An experienced operator who is a specialist in endodontics and previously trained with all systems performed all the instrumentation procedures. Each set of instruments was used to prepare three root canals.

Micro-CT evaluation

After root canal preparation, the teeth were rescanned in the micro-CT device with the same parameters outlined before. Reconstructed images captured after instrumentation were geometrically co-registered with the preoperative data sets using the 3D Slicer 4.4.0 software (<http://www.slicer.org>) with a custom combination of a rigid registration module based on image intensity similarities with accuracy greater than 1 voxelCTAn v.1.12 software (Bruker Micro-CT) was used to calculate the volume (mm^3) and the surface area (mm^2) of the root canal segment. The unprepared canal surface was assessed using the ImageJ 1.50 d software (National Institutes of Health) by calculating the number of static voxels. All values were calculated by subtracting the scores for the treated canals from those recorded for their untreated counterparts and then converted into

TABLE 1 Volume and surface area of mesial root canals of mandibular molars before and after preparation with four systems

Instrument system	Level	Volume (mm ³)	Mean $\pm$ SD	Median	Range	Surface area (mm ²)	Mean $\pm$ SD	Median	Range
VDW Rotate	Full canal	Initial	2 $\pm$ 1.12	2	1.17–5.1	Initial	104.577 $\pm$ 59.250.09	115617	21 632–217772
		Final	5 $\pm$ 1.20	5	2.44–6.17	Final	18.585 $\pm$ 11.534.61	18320	2584–38 055
	Apical canal	% increase	229 $\pm$ 107.82	206	110–473.90	% Unprepared	19 $\pm$ 6.37	20	7.35–28.04
		Initial	1.3 $\pm$ 0.6	1.2	0.7–2.9	Initial	44.883 $\pm$ 25.429.22	49621	9284.12–93464.38
RaCe EVO	Full canal	Final	0.5 $\pm$ 0.2	0.5	0.3–0.8	Final	5.581 $\pm$ 34.63.84	5501	775.97–11427.93
		% increase	28.1 $\pm$ 12.8	25.4	11.9–46.3	% Unprepared	1.3 $\pm$ 4.46	14	5.14–19.62
	Apical canal	Initial	3 $\pm$ 1.11	2	0.45–4.73	Initial	125.850 $\pm$ 68.86.67	126961	9760–258727
		Final	4 $\pm$ 0.99	4	2.10–5.54	Final	17.582 $\pm$ 14.131.53	12267	1870–43 449
Reciproc Blue	Full canal	% increase	184 $\pm$ 94.94	173	100.54–466.65	% Unprepared	14 $\pm$ 6.39	15	3.69–25.10
		Initial	1.2 $\pm$ 0.5	1.1	0.8–3.1	Initial	54.013 $\pm$ 29.556.51	54489	4188.84–111041.6
	Apical canal	Final	0.6 $\pm$ 0.2	0.4	0.4–0.9	Final	5.280 $\pm$ 42.43.70	3684	561.56–13047.75
		% increase	29.1 $\pm$ 13.2	26.6	12.2–47.1	% Unprepared	10 $\pm$ 4.47	10	2.58–17.56
Re-Motion	Full canal	Initial	2 $\pm$ 1.17	2	0.67–3.82	Initial	135.204 $\pm$ 88.159.04	119224	29 705–301141
		Final	4 $\pm$ 0.91	5	2.93–6.18	Final	19.133 $\pm$ 15.773.22	16134	2416–61 400
	Apical canal	% increase	302 $\pm$ 184.33	244	120.41–649.25	% Unprepared	16 $\pm$ 9.26	17	2.65–31.51
		Initial	3.6 $\pm$ 0.6	3.5	2.3–5.2	Initial	58.960 $\pm$ 37.122.9	51169	12748.93–129245.1
Re-Motion	Full canal	Final	1.9 $\pm$ 0.6	1.6	0.8–2.6	Final	5.908 $\pm$ 46.93.90	5574	725.52–18438.44
		% increase	48.0 $\pm$ 11.8	48.1	2.8–4.9	% Unprepared	11 $\pm$ 6.52	12	1.85–22.05
	Apical canal	Initial	2 $\pm$ 0.69	2	1.07–3.18	Initial	138.899 $\pm$ 48.534.35	136275	79 645–235691
		Final	4 $\pm$ 1.48	3	1.95–5.95	Final	22.854 $\pm$ 10.393.07	19164	10 393–46814
Re-Motion	Full canal	% increase	170 $\pm$ 36.10	161	125.66–224.52	% Unprepared	17 $\pm$ 5.24	16	6.99–24.15
		Initial	1.9 $\pm$ 0.4	1.7	1.2–2.9	Initial	59.613 $\pm$ 20.830.19	58487	34182.4–101154.9
	Apical canal	Final	0.6 $\pm$ 0.2	0.6	0.4–0.9	Final	6.863 $\pm$ 31.21.04	5755	3121.02–14058.26
		% increase	30.2 $\pm$ 10.4	26.5	18.4–56.4	% Unprepared	12 $\pm$ 3.67	11	4.89–16.90

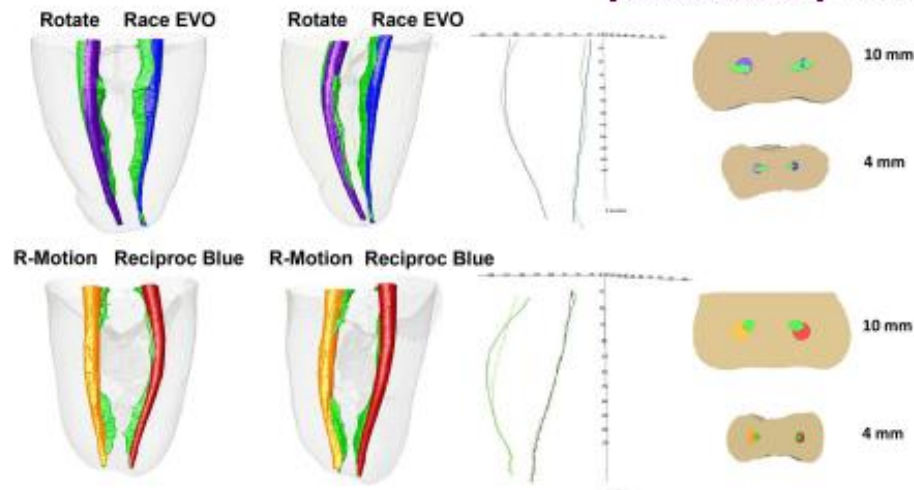


FIGURE 1 Representative 3D reconstructions of micro-CT scans taken before (green) and after preparation using rotate (purple), RaCe EVO (blue), R-motion (orange) and Reciproc blue (red) instrument systems. Superimposed views show unprepared areas in green. The graphs show the root canal transportation evaluated by the centre of gravity variation before (green) and after canal preparation with each system. The cross-sectional views demonstrate representative images of canal transportation at 10 mm and 4 mm levels.

TABLE 2 Centre of gravity shift (mm) in the root canals after preparation using two instrument systems

Instrument system	Mean $\pm$ SD	Median	Range
VDW.Rotate	0.17 $\pm$ 0.16	0.11	0.01–0.45
RaCe EVO	0.18 $\pm$ 0.17	0.10	0.03–0.62
Reciproc Blue	0.15 $\pm$ 0.11	0.11	0.03–0.41
R-Motion	0.19 $\pm$ 0.73	0.20	0.08–0.29

percentages. Analyses included the 4-mm apical portion of the prepared canal and the full canal length (up to 10-mm short of WL). Micro-CT analyses were performed by an author other than the one who instrumented the canals, blinded to the groups.

Canal transportation was estimated from the centre of gravity calculated for each slice and connected along the z-axis with a fitted line in a total of 11.574 VDW.Rotate, 11.465 RaCe EVO, 11.414 Reciproc Blue, and 11.554 R-Motion cross-sections using XLSTAT-3Dplot for Windows (Addinsoft). Mean transportation (in mm) was calculated by comparing the centres of gravity before and after preparation for the coronal, middle and apical canal segments. Representative measurements were also graphically presented in diagrams.

In order to measure the preoperative and postoperative canal width compared with the root width, the CTAn software was used at two levels: 0 and 4 mm apical to the coronal canal opening. Possible root fracture risk was

considered if the postoperative canal width corresponded to more than 40% of the root width (Wilcox et al., 1997).

Statistical analysis

The Shapiro–Wilk test was applied to verify data normality. Accordingly, the ANOVA and Kruskal–Wallis tests were applied to normal and non-normal distributions. The Wilcoxon test was used to compare the intragroup differences in the amount of volume, surface area, unprepared areas, and canal: root width ratio before and after preparation. The significance level was 5% for all statistical tests ($p < .05$).

RESULTS

The measurements of volume, surface area and unprepared areas before and after preparation are shown in Table 1. The initial canal volume and surface area were similar amongst groups ($p > .05$) and were significantly increased after instrumentation with all test systems ($p < .05$). The amount of unprepared areas after preparation in the full and apical canal length were, respectively, 19% and 13% for VDW.Rotate, 16% and 11% for Reciproc Blue, 14% and 10% for RaCe EVO, and 17% and 12% for R-Motion (Figure 1). There were no statistically significant differences between groups for the amount of unprepared areas ($p > .05$).

Variation in the centre of gravity showed no statistically significant difference between groups ($p > .05$). The mean scores ranged from 0.01 to 0.45 mm for VDW.Rotate, 0.03 to 0.62 mm for RaCe EVO, 0.03 to 0.41 mm for Reciproc Blue and 0.08 to 0.29 mm for R-Motion (Table 2).

The root canal width in relation to the root was significantly enlarged by all systems ($p < .01$). There were no statistically significant differences between groups when the canal: root width ratio before and after preparation was compared at levels 0 and 4 mm apical to the

TABLE 3 Canal/root width ratio before and after preparation with four systems

Instrument system	Level	Width (mm)	Mean $\pm$ SD	Median	Range
VDW.Rotate	0 mm (coronal canal opening)	Initial canal	0.88 $\pm$ 0.19	0.88	0.52–1.22
		Prepared canal	1.13 $\pm$ 0.20	1.09	0.72–1.44
		Root	4.19 $\pm$ 0.47	4.16	3.43–5.15
		% Prepared canal/root	24.98 $\pm$ 4.06	24.16	19.30–32.65
	4 mm (below coronal canal opening)	Initial canal	0.51 $\pm$ 0.14	0.52	0.33–0.78
		Prepared canal	0.78 $\pm$ 0.11	0.77	0.60–0.95
		Root	3.45 $\pm$ 0.17	3.49	3.09–3.80
		% Prepared canal/root	21.85 $\pm$ 3.08	21.43	16.90–26.76
RaCe EVO	0 mm (coronal canal opening)	Initial canal	0.87 $\pm$ 0.31	0.93	0.30–1.30
		Prepared canal	1.22 $\pm$ 0.21	1.21	0.93–1.66
		Root	4.21 $\pm$ 0.41	4.21	3.43–4.91
		% Prepared canal/root	27.63 $\pm$ 4.26	27.43	21.78–35.85
	4 mm (below coronal canal opening)	Initial canal	0.47 $\pm$ 0.09	0.48	0.29–0.59
		Prepared canal	0.87 $\pm$ 0.11	0.87	0.69–1.02
		Root	3.39 $\pm$ 0.56	3.37	2.20–4.13
		% Prepared canal/root	24.46 $\pm$ 4.97	25.34	15.94–34.11
Reciproc Blue	0 mm (coronal canal opening)	Initial canal	0.74 $\pm$ 0.19	0.74	0.44–1.04
		Prepared canal	1.04 $\pm$ 0.16	1.01	0.85–1.40
		Root	4.01 $\pm$ 0.57	3.95	3.28–5.11
		% Prepared canal/root	24.17 $\pm$ 3.39	24.34	18.81–29.40
	4 mm (below coronal canal opening)	Initial canal	0.43 $\pm$ 0.08	0.44	0.26–0.56
		Prepared canal	0.80 $\pm$ 0.14	0.84	0.53–0.97
		Root	3.12 $\pm$ 0.48	3.12	2.09–4.07
		% Prepared canal/root	24.38 $\pm$ 3.86	24.92	19.06–31.70
R-Motion	0 mm (coronal canal opening)	Initial canal	0.92 $\pm$ 0.23	0.95	0.48–1.23
		Prepared canal	1.12 $\pm$ 0.18	1.11	0.85–1.42
		Root	4.21 $\pm$ 0.47	4.08	3.49–5.03
		% Prepared canal/root	25.39 $\pm$ 4.69	25.50	17.86–33.25
	4 mm (coronal canal opening)	Initial canal	0.51 $\pm$ 0.15	0.50	0.18–76
		Prepared canal	0.84 $\pm$ 0.09	0.81	0.65–0.97
		Root	3.33 $\pm$ 0.58	3.35	2.31–4.18
		% Prepared canal/root	24.11 $\pm$ 5.18	22.68	18.54–36.05

coronal canal opening ($p > .05$). In no specimen the canal width exceeded 40% of the root width (Table 3). A detailed flow-chart of the study is presented in Figure 2.

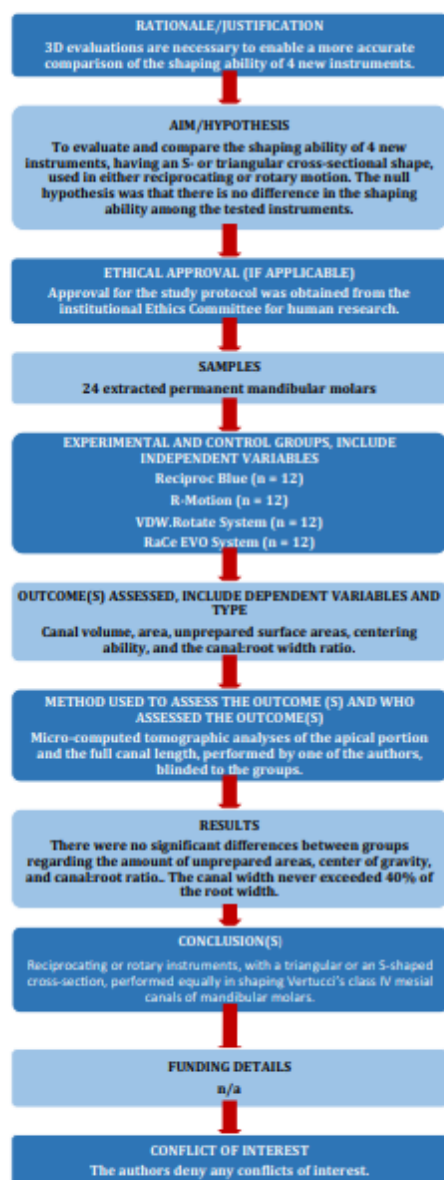


FIGURE 2 PRILE flow chart

DISCUSSION

Instruments are used to shape root canals, and proper cleaning and disinfection depends on how effectively shaped the canal was (Pérez et al., 2020). Moreover, inadequate shaping can lead to accidents and make the root prone to fracture and tooth loss (Paque et al., 2009). As new instruments are frequently being released, there is a need to evaluate their performance in terms of canal shaping. This study compared four NiTi instrument systems, three of which have not been evaluated for shaping ability. These instruments were also included because of their cross-sectional designs and mode of operation, as follows: Reciproc Blue (reciprocating, S-shaped cross-section), R-Motion (reciprocating, triangular cross-section), VDW Rotate (continuous rotation, adapted S-shaped cross-section) and RaCe EVO (continuous rotation, triangular cross-section).

Mesial roots from mandibular molars with Vertucci type IV configuration were used in the study. The advantage of using this tooth anatomy is that there are two independent canals, permitting two different systems to be used in the same root with very similar anatomy. The roots were matched in terms of anatomical similarities, and because four different instruments were used, they were alternated from one root to another. This approach is expected to reduce the biases introduced by using natural teeth with individual anatomic conditions (Brasil et al., 2017; Silveira et al., 2018).

Bacterial biofilms and remaining tissue may persist in unprepared canal areas (Siqueira et al., 2013; Zhao et al., 2014). Consequently, the amount of unprepared surface areas is one of the main parameters evaluated in micro-CT studies of instrument shaping performance (Peters et al., 2015; Siqueira et al., 2013, 2018). The amount of unprepared areas ranged from 14% to 19% in the present study, depending on the system used. This finding may be considered as a satisfactory result compared with the range of 11%–48% reported by other micro-CT studies using mandibular molars (da Silva Limoeiro et al., 2016; Markvart et al., 2012; Peters et al., 2015; Siqueira et al., 2013; Weiger et al., 2006). There was no apparent correlation between the amount of unprepared areas and the other parameters evaluated.

The present study revealed no significant difference in the amount of unprepared areas after preparation with the four instrument systems using different motions (reciprocating or continuous rotation) and cross-sectional designs (S-shaped or triangular). The reason for that may be related to the fact that all systems were used up to the same size (30/04), except for the Reciproc Blue, which had a tip size of 25 but a larger taper along the apical 3 mm, which compensates this difference. The fact that these instruments are

made of enhanced NiTi alloys may also have contributed to the similar performances, with heat treatment as a common point amongst them. The benefits of this kind of treatment in terms of efficiency and safety are very well established in the literature, proving to be one of the most important advances in endodontic instrument manufacturing (Arias & Peters, 2022; Shen et al., 2013).

Canal transportation was also evaluated according to variations of the centre of gravity. The present findings revealed that the four instrument systems performed similarly and caused minimal deviation with no significant difference amongst them. The reasons for that are the same as discussed above for unprepared areas.

Canal overenlargement may predispose to fracture and, for safety reasons, it has been suggested that the canal width after preparation should not exceed 40% of the root width (Wilcox et al., 1997). Based on this parameter, the four systems can be considered safe for preparing mesial roots of mandibular molars because in no specimen was the canal diameter at the coronal and middle segments larger than 36% of the root diameter. No significant difference was observed between the different systems.

CONCLUSIONS

The findings revealed that reciprocating or rotary NiTi instruments, with a triangular or an S-shaped cross-section, performed equally well in shaping Vertucci's class IV mesial canals of mandibular molars.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Isabela Guedes and Renata Rodrigues: data collection. Marília Marceliano-Alves: formal analysis. Flávio Alves: writing – review and editing. Isabela Rôças e José Siqueira: conceptualization, writing – original draft, writing – review and editing.

ACKNOWLEDGEMENTS

Supported by grants from the Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) and Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brazilian Governmental Institutions.

CONFLICT OF INTEREST

The authors deny any conflicts of interest.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

ORCID

Marília F. Marceliano-Alves <https://orcid.org/0000-0002-2917-5934>

Flávio R. F. Alves <https://orcid.org/0000-0002-9922-8202>

REFERENCES

- Al Omari, T., El-Farraj, H., Arican, B. & Atav Ates, A. (2021) Apical debris extrusion of full-sequenced rotary systems in narrow ribbon-shaped canals. *Australian Endodontic Journal*, 14, 245–250.
- Arias, A. & Peters, O.A. (2022) Present status and future directions: canal shaping. *International Endodontic Journal*, 55(Suppl 3), 637–655.
- Belladonna, F.G., Carvalho, M.S., Cavalcante, D.M., Fernandes, J.T., de Carvalho Maciel, A.C., Oliveira, H.E. et al. (2018) Micro-computed tomography shaping ability assessment of the new blue thermal treated Reciproc instrument. *Journal of Endodontics*, 44, 1146–1150.
- Brasil, S.C., Marceliano-Alves, M.F., Marques, M.L., Grillo, J.P., Lacerda, M.F.L.S., Alves, F.R.F. et al. (2017) Canal transportation, unprepared areas, and dentin removal after preparation with BT-RaCe and ProTaper next systems. *Journal of Endodontics*, 43, 1683–1687.
- da Silva, E., de Moura, S.G., de Lima, C.O., Barbosa, A.F.A., Misael, W.F., Lacerda, M.F.L.S. et al. (2021) Shaping ability and apical debris extrusion after root canal preparation with rotary or reciprocating instruments: a micro-CT study. *Restorative Dentistry and Endodontics*, 46, e16.
- da Silva Limoeiro, A.G., Dos Santos, A.H., De Martin, A.S., Kato, A.S., Fontana, C.E., Gavini, G. et al. (2016) Micro-computed tomographic evaluation of 2 nickel-titanium instrument systems in shaping root canals. *Journal of Endodontics*, 42, 496–499.
- da Silva, P.B., Duarte, S.F., Alcalde, M.P., Duarte, M.A.H., Vivan, R.R., da Rosa, R.A. et al. (2020) Influence of cervical pre-flaring and root canal preparation on the fracture resistance of endodontically treated teeth. *BMC Oral Health*, 20, 111.
- De-Deus, G., Cardoso, M.L., Belladonna, F.G., Cavalcante, D.M., Simões-Carvalho, M., Souza, E.M. et al. (2019) Performance of Reciproc blue R25 instruments in shaping the canal space without glide path. *Journal of Endodontics*, 45, 194–198.
- Gavini, G., Santos, M.D., Caldeira, C.L., Machado, M.E.L., Freire, L.G., Iglecias, E.F. et al. (2018) Nickel-titanium instruments in endodontics: a concise review of the state of the art. *Brazilian Oral Research*, 32, e67.
- Marceliano-Alves, M.F., Sousa-Neto, M.D., Fidel, S.R., Steier, L., Robinson, J.P., Pécora, J.D. et al. (2015) Shaping ability of single-file reciprocating and heat-treated multifile rotary systems: a micro-CT study. *International Endodontic Journal*, 48, 1129–1136.
- Markvart, M., Darvann, T.A., Larsen, P., Dalstra, M., Kreiborg, S. & Bjørndal, L. (2012) Micro-CT analyses of apical enlargement and molar root canal complexity. *International Endodontic Journal*, 45, 273–281.
- Medeiros, T.C., Lima, C.O., Barbosa, A.F.A., Augusto, C.M., Bruno, A.M.V., Lopes, R.T. et al. (2021) Shaping ability of reciprocating and rotary systems in oval-shaped root canals: a microcomputed

- tomography study. *Acta Odontológica Latinoamericana*, 34, 282–288.
- Nagendrababu, V. & Ahmed, H.M.A. (2019) Shaping properties and outcomes of nickel-titanium rotary and reciprocation systems using micro-computed tomography: a systematic review. *Quintessence International*, 50, 186–195.
- Nagendrababu, V., Murray, P.E., Ordinola-Zapata, R., Peters, O.A., Rôças, I.N., Siqueira, J.F., Jr. et al. (2021) PRILE 2021 guidelines for reporting laboratory studies in endodontology: a consensus-based development. *International Endodontic Journal*, 54, 1482–1490.
- Pacheco-Yanes, J., Gazzaneo, I., Campello, A.F., Marceliano-Alves, M.F., Estrela, C., Bueno, M.R. et al. (2022) Planned apical preparation using cone-beam computed tomographic measures: a micro-computed tomographic proof of concept in human cadavers. *Journal of Endodontics*, 48, 280–286.
- Paque, F., Ganahl, D. & Peters, O.A. (2009) Effects of root canal preparation on apical geometry assessed by micro-computed tomography. *Journal of Endodontics*, 35, 1056–1059.
- Pérez, A.R., Ricucci, D., Vieira, G.C.S., Provenzano, J.C., Alves, F.R.F., Marceliano-Alves, M.F. et al. (2020) Cleaning, shaping, and disinfecting abilities of 2 instrument systems as evaluated by a correlative micro-computed tomographic and Histobacteriologic approach. *Journal of Endodontics*, 46, 846–857.
- Peters, O.A., Arias, A. & Paque, F. (2015) A micro-computed tomographic assessment of root canal preparation with a novel instrument, TRUShape, in mesial roots of mandibular molars. *Journal of Endodontics*, 41, 1545–1550.
- Rubio, J., Zarzosa, J.I. & Pallares, A. (2017) Comparison of shaping ability of 10 rotary and reciprocating systems: an in vitro study with AutoCad. *Acta Stomatologica Croatica*, 51, 207–216.
- Shen, Y., Zhou, H.M., Zheng, Y.F., Peng, B. & Haapasalo, M. (2013) Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. *Journal of Endodontics*, 39, 163–172.
- Silveira, S.B., Alves, F.R.F., Marceliano-Alves, M.F., Sousa, J.C.N., Vieira, V.T.L., Siqueira, J.F., Jr. et al. (2018) Removal of root canal fillings in curved canals using either Mani GPR or HyFlex NT followed by passive ultrasonic irrigation. *Journal of Endodontics*, 44(2), 299–303.e1.
- Siqueira, J.F., Jr., Rôças, I.N., Marceliano-Alves, M.F., Pérez, A.R. & Ricucci, D. (2018) Unprepared root canal surface areas: causes, clinical implications, and therapeutic strategies. *Brazilian Oral Research*, 32, e65.
- Siqueira, J.F., Jr., Alves, F.R., Versiani, M.A., Rôças, I.N., Almeida, B.M., Neves, M.A. et al. (2013) Correlative bacteriologic and micro-computed tomographic analysis of mandibular molar mesial canals prepared by self-adjusting file, reciproc, and twisted file systems. *Journal of Endodontics*, 39, 1044–1050.
- Siqueira, J.F., Jr. & Lopes, H.P. (2022) Chemomechanical preparation. In: Siqueira, J.F., Jr., Debelian, G., Lopes, H.P. & Rôças, I.N. (Eds.) *Treatment of endodontic infections*, 2nd edition. London: Quintessence Publishing, pp. 257–306.
- Siqueira, J.F., Jr. & Rôças, I.N. (2008) Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *Journal of Endodontics*, 34(11), 1291–1301.e3.
- Versiani, M.A., Leoni, G.B., Steier, L., de Deus, G., Tassani, S., Pécora, J.D. et al. (2013) Micro-computed tomography study of oval-shaped canals prepared with the self-adjusting file, Reciproc, WaveOne, and ProTaper universal systems. *Journal of Endodontics*, 39, 1060–1066.
- Vertucci, F.J. (1984) Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, and Oral Pathology*, 58, 589–599.
- Wang, Q., Liu, Y., Wang, Z., Yang, T., Liang, Y., Gao, Z. et al. (2020) Effect of access cavities and canal enlargement on biomechanics of endodontically treated teeth: a finite element analysis. *Journal of Endodontics*, 46, 1501–1507.
- Weiger, R., Bartha, T., Kalwitzki, M. & Lost, C. (2006) A clinical method to determine the optimal apical preparation size. Part I. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 102, 686–691.
- Wilcox, L.R., Roskelley, C. & Sutton, T. (1997) The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture. *Journal of Endodontics*, 23, 533–534.
- Zhao, D., Shen, Y., Peng, B. & Haapasalo, M. (2014) Root canal preparation of mandibular molars with 3 nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomographic study. *Journal of Endodontics*, 40, 1860–1864.

How to cite this article: Guedes, I.G., Rodrigues, R.C.V., Marceliano-Alves, M.F., Alves, F.R.F., Rôças, I.N. & Siqueira, J.F. (2022) Shaping ability of new reciprocating or rotary instruments with two cross-sectional designs: An ex vivo study. *International Endodontic Journal*, 55, 1385–1393. Available from: <https://doi.org/10.1111/iej.13834>