

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ODONTOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA – NÍVEL
MESTRADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO CLÍNICA ODONTOLÓGICA – ENDODONTIA

THEODORO WEISSHEIMER

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE DIFERENTES
INSTRUMENTOS DE RETRATAMENTO DE NÍQUEL-TITÂNIO**

Porto Alegre

2021

THEODORO WEISSHEIMER

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE DIFERENTES
INSTRUMENTOS DE RETRATAMENTO DE NÍQUEL-TITÂNIO

Dissertação de nível Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como pré-requisito final para a obtenção do título de Mestre em Clínica Odontológica – com ênfase em Endodontia.

Linha de Pesquisa: Biomateriais e Técnicas Terapêuticas em Odontologia

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinicius Reis Só

Porto Alegre

2021

CIP – Catalogação na Publicação

AGRADECIMENTOS

Agradeço a **Deus** por iluminar meu caminho e me permitir a chegada desse e de tantos outros momentos.

Agradeço aos meus pais, **Eduardo Weissheimer** e **Joanice Maria Reuse Weissheimer**, e ao meu irmão, **Murillo Weissheimer**, por todo amor e suporte incondicional, sem nunca terem medido esforços para com a minha educação como ser humano e profissional.

Agradeço ao meu orientador, **Prof. Dr. Marcus Vinicius Reis Só**, por ser um exemplo de profissional e de ser humano, por ter confiado na minha capacidade e me proporcionado tantas oportunidades de crescimento, bem como pela amizade construída durante nosso convívio. Faltam palavras para lhe expressar toda a gratidão que sinto.

Agradeço ao **Prof. Dr. Ricardo Abreu da Rosa** por, da mesma forma, ter confiado tantas vezes na minha capacidade, por ter sido um coorientador para mim, e pela amizade construída. Sou muito grato por tudo.

Agradeço a minha namorada, **Letícia Rodrigues Kreling**, por ser meu porto seguro, por entender o que tudo isso significa para mim e por sempre ter estado ao meu lado.

Agradeço aos amigos, **Marieli Chitolina Pradebon, Luana Heck, Renata Aqel de Oliveira, Angélica Fensterseifer Lemos, Aline Teixeira Mendes, Lilian Tietz, Natália Villa, Angela Longo do Nascimento, Bruna Giovanaz, Fernanda Friedrich, Gabriel Barcelos Só, Daniel Feijolo Marconi, Isadora Ames Silva, Vinícius Souza Eilers, Charles André Dall Agnol Júnior, Giovana Siocheta, Natália Abrahão, Karolina Frick Bischof, Pedro Marks Duarte, Ramiro Martins Quintana, Igor Abreu de Bem, Alexander Pompermayer Jardine, Felipe Barros Matoso, Lucas Siqueira Pinheiro, Paulo Augusto Scalzilli, Mauricio Anastacio e Carolina Troian Michel**, por todas as risadas, parceria e ajuda em tantos momentos.

Agradeço aos amigos de Bauru, **Pedro Henrique Souza Calefi, Victor Moraes Cruz, Paulo Roberto Jara de Souza, Roberto Barreto Osaki, Prof. Dr. Murilo Priori Alcalde, Prof. Dr. Rodrigo Ricci Vivan, Prof. Dr. Marco Antonio Hungaro Duarte, Prof. Dr. Renan Diego Furlan e Prof. Dr. Pablo Amoroso André Silva** por toda a amizade, parceria e oportunidades de crescimento.

Agradeço aos amigos do Rio de Janeiro, **Prof. Dr. Emmanuel João Nogueira Leal da Silva e Karem Paula Pinto** por toda a amizade, disponibilidade e ajuda.

Agradeço ao **Prof. Dr. Alexandre da Silveira Gerszon**, ao **Prof. Alexandre Azevedo Salles**, ao **Prof. Denis Machado Caon**, a **Prof^ª. Dra. Vanessa Valgas dos Santos**, ao **Prof. Luis Alfredo Fardo**, a **Prof^ª. Janaína Guzzo Zechin Kufner**, a **Prof^ª. Érica Pozo Mautone** e ao **Prof. Dr. Carlos Roberto Berger**, pela amizade e incentivo desde sempre.

Agradeço aos **Professores do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da UFRGS**, em especial aos da área de **Endodontia**, pelo convívio e por todos os ensinamentos.

Agradeço à **Universidade Federal do Rio Grande do Sul** e ao **Programa de Pós-Graduação em Odontologia da UFRGS** por permitirem a realização desse sonho.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram e torceram para o meu desenvolvimento pessoal e profissional durante essa e tantas outras caminhadas.

Para todos, meu sincero e de coração, muito obrigado!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.2 Instrumentos Mecanizados de Níquel-Titânio para Retratamento Endodôntico.....	14
1.3 Testes Mecânicos de Instrumentos de Níquel-Titânio para Retratamento	15
1.3.1 Fadiga Cíclica	15
1.3.2 Fadiga Torsional.....	17
1.3.3 Capacidade Flexural	19
1.4 Pro-R	20
1.5 Logic RT	20
1.6 Retratamento MK.....	20
1.7 ProTaper Retreatmento	21
2. OBJETIVOS.....	22
2.1 Objetivo Geral.....	22
2.2 Objetivos Específicos.....	22
3. ARTIGO CIENTÍFICO	23
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS.....	43
ANEXO 1 – Lista de Projetos Aprovados pela Comissão de Pesquisa (COMPESQ) da Faculdade de Odontologia da UFRGS.....	51

RESUMO

O objetivo desse estudo foi o de investigar a resistência à fadiga cíclica, flexural, torsional e deflexão angular de instrumentos de níquel-titânio (NiTi) usados para desobturação do canal radicular. Um total de 80 instrumentos de NiTi foram selecionados para esse estudo. As amostras foram divididas em quatro grupos (n = 20), da seguinte forma: Pro-R #25.08; ProDesign Logic RT #25.08; Retratamento MK #25.08; e ProTaper Retratamento D2 #25.08. O teste de fadiga cíclica foi realizado até a fratura em um dispositivo de aço inoxidável personalizado em um equipamento de banho-maria para simular a temperatura corporal. O tempo para fratura foi registrado. O número de ciclos foi calculado. A resistência flexural até 45°, a resistência torsional, e a deflexão angular foram avaliadas. As superfícies das fraturas foram examinadas por microscopia eletrônica de varredura. A análise estatística foi realizada com os testes ANOVA unidirecional e Tukey e Kruskal-Wallis e de Dunn. Pro-R e Logic RT apresentaram a maior fadiga cíclica ($P < 0.05$). D2 apresentou maior resistência à flexão do que a Pro-R e a Logic-RT ($P < 0.05$). Logic RT demonstrou o maior torque e deflexão angular ($P < 0.05$), sem diferenças quando comparado a D2 ($P > 0.05$). A performance dos instrumentos dependeu das suas características geométricas e tratamentos térmicos.

Palavras-Chave: Temperatura corporal, fadiga cíclica, liga de NiTi, força para flexão, torção

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the cyclic fatigue, bending, torsional resistance, and angular deflection of nickel-titanium (NiTi) instruments used for root canal desobturation. A total of 80 NiTi instruments were selected for this study. The samples were divided in four groups ($n = 20$), as follows: Pro-R #25.08; ProDesign Logic RT #25.08; MK Retreatment #25,08; and ProTaper Retreatment D2 #25.08. Cyclic fatigue test was performed until fracture in a custom stainless-steel device with water bath equipment to simulate body temperature. Time to fracture was recorded. Number of cycles was calculated. Resistance to bending at 45° , torsional resistance, and angular deflection were evaluated. The fracture surfaces were examined by scanning electron microscopy. Statistical analysis was performed with one-way ANOVA and Tukey and Kruskal-Wallis and Dunn tests. Pro-R and Logic RT presented the highest cyclic fatigue ($P < 0.05$). D2 had higher strength to bend than Pro-R and Logic RT ($P < 0.05$). Logic RT showed the highest torque and angular deflection ($P < 0.05$), without differences when compared to D2 ($P > 0.05$). Instruments performances were dependent on their geometrical features and heat treatments.

Keywords: Body temperature, cyclic fatigue, NiTi alloy, strength to bend, torsion

FIGURAS

Figura 1 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura das superfícies de fratura dos instrumentos D2 (A e B), Pro-R (C e D), MK RT (E e F) e Logic RT (G e H) após teste de fadiga cíclica 31

Figura 2 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura das superfícies de fratura dos instrumentos D2 (A e B), Pro-R (C e D), MK RT (E e F) e Logic RT (G e H) após teste de resistência torsional 32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média (e desvio padrão) da fadiga cíclica (NCF), flexão (°), torque (Ncm) e deflexão angular (°) dos instrumentos testados	30
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

° - Graus

> - Maior que

< - Menor que

± - Mais ou menos

% - Porcentagem

°C - Graus Celsius

cm² - Centímetro quadrado

COMPESQ - Comissão de Pesquisa

etc. - Et cetera (e outros mais)

et al. - Et aliae (e outros)

ISO - International Organization for Standardization

kgf - Quilograma-força

L - Litros

mL - Mililitros

mm - Milímetros

Ncm - Newton centímetro

NCF - Número de ciclos para fratura

NiTi - Níquel-Titânio

rpm - Rotações por minuto

SEM - Scanning electron microscopy (microscopia eletrônica de varredura)

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

v. - Versão

x - Vezes

APRESENTAÇÃO

Essa dissertação, de nível mestrado, contém como estrutura principal um artigo científico publicado na revista *Australian Endodontic Journal*. Por esse motivo, a dissertação se encontra de acordo com as normas estabelecidas pela revista citada.

A realização desse estudo foi aprovada pela Comissão de Pesquisa - COMPESQ - da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul / UFRGS (ANEXO 1), já se encontrando concluído pelo sistema.

1. INTRODUÇÃO

A principal causa de insucesso do tratamento endodôntico está relacionada à presença de infecção bacteriana (SIQUEIRA; RÔÇAS, 2008). Essa pode estar localizada dentro do sistema de canais (intrarradicular) (VIEIRA et al., 2012), ou externamente, se estendendo além do forame apical (extrarradicular) (RICUCCI et al., 2015).

Tal infecção pode ser caracterizada como persistente, quando causada por bactérias presentes no momento do primeiro tratamento que não foram eliminadas ou controladas; ou secundária, quando causada por bactérias introduzidas durante o tratamento primário, por falhas da cadeia asséptica, ou que tenham infiltrado no sistema de canais após a finalização do tratamento (SIQUEIRA et al., 2014).

Independentemente da caracterização da infecção, a redução e o controle da carga bacteriana se fazem necessários a fim de favorecer o processo de reparo por parte do organismo (SIQUEIRA; RÔÇAS, 2008). Nesse sentido, o retratamento endodôntico não cirúrgico se mostra como a primeira opção de reintervenção para a maioria dos casos, apresentando uma taxa de sucesso entre 70 à 88% (CHÉRCOLES-RUIZ; SÁNCHEZ-TORRES; GAY-ESCODA, 2017; NG; MANN; GULABIVALA, 2008; TORABINEJAD et al., 2009).

O retratamento endodôntico não-cirúrgico consiste na remoção do material obturador via acesso coronário, sendo a guta-percha associada a um cimento endodôntico os materiais mais empregados atualmente, a fim de se ganhar acesso ao sistema de canais radiculares, para que seja possível uma nova tentativa de descontaminação (DUNCAN; CHONG, 2008).

Embora até o momento nenhuma técnica tenha demonstrado a capacidade de remover completamente o material obturador do interior do sistema de canais radiculares (ROSSI-FEDELE; AHMED, 2017), diversas são as técnicas empregadas para a remoção deste. Entre tais técnicas, podemos citar o uso de instrumentos manuais de aço inoxidável, associado ou não à utilização de instrumentos mecanizados de aço (brocas Gates Glidden), com ou sem solventes endodônticos, o uso de insertos ultrassônicos, e o uso de instrumentos mecanizados de níquel-titânio (NiTi) destinados para a remoção do material

obturador (AGRAWAL et al., 2019; ROSSI-FEDELE; AHMED, 2017; TAVARES et al., 2020).

1.2 Instrumentos Mecanizados de Níquel-Titânio para Retratamento Endodôntico

É descrito na literatura que, dentre as técnicas de remoção de material obturador, a utilização de instrumentos de NiTi possibilita um menor tempo para a obtenção do comprimento de trabalho (FENOUL; MELESS; PÉREZ, 2010; RÖDIG et al., 2012, 2014a, 2014b; SOMMA et al., 2008) e promove uma menor extrusão apical de debris (KAŞIKÇI BILGI et al., 2017; TOPÇUOĞLU et al., 2014), quando comparados aos instrumentos manuais de aço inoxidável. Porém, quanto à eficácia na remoção do material obturador, os estudos demonstram resultados controversos.

Enquanto Schirrmeister *et al.* (2006), e Patil *et al.* (2018), verificaram que os sistemas de NiTi removeram maior quantidade de material obturador, Rödиг *et al.* (2014b), e Hammad *et al.* (2008), verificaram que os instrumentos manuais de aço inoxidável promoveram uma maior remoção deste material. Controversamente, Somma *et al.* (2008), Fenoul *et al.* (2010), Bilgi *et al.* (2017), e Kosti *et al.* (2006), demonstraram não haver diferenças entre os instrumentos manuais de aço inoxidável ou de NiTi em relação ao mesmo aspecto.

Diversos instrumentos de NiTi, muitos destinados exclusivamente para situações de retratamento, vêm sendo introduzidos ao mercado. Esses podem ser apresentados em três fases microestruturais, que são influenciadas pela temperatura e estresse que o instrumento é submetido durante o seu uso. Uma fase predominantemente austenita, fornecendo ao instrumento uma propriedade de super elasticidade, tornando-o mais rígido. Em uma fase intermediária, prévia a fase martensita, conhecida como fase-R. E em fase predominantemente martensita, fornecendo ao instrumento uma maior ductilidade e um efeito de memória de forma (ZUPANC; VAHDAT-PAJOUH; SCHÄFER, 2018).

Além disso, esses instrumentos apresentam diferentes características geométricas (secção transversal, diâmetro de ponta, conicidade, volume de massa metálica, etc.), cinemáticas (rotatória e/ou reciprocante) e tratamentos térmicos, a fim de, dessa forma, melhorarem as suas performances clínicas

(GAVINI et al., 2018; ZHANG; CHEUNG; ZHENG, 2010; ZUPANC; VAHDAT-PAJOUH; SCHÄFER, 2018).

Entretanto, embora tais tecnologias venham sendo empregadas aos instrumentos, é necessário salientar que aqueles destinados ao procedimento de desobturação trabalham em constante atrito com o material obturador e as paredes dentinárias, levando a uma maior incidência de fraturas quando comparados aos índices de fraturas em tratamento primários (ALFOUZAN; JAMLEH, 2018), o que pode comprometer a taxa de sucesso da terapia, principalmente quando há presença de infecção (CHATTERJEE, 1990; PARASHOS; MESSER, 2006).

Tais acidentes podem acontecer por dois mecanismos diferentes: fadiga cíclica ou torsional; acontecendo, em sua maioria das vezes, sem quaisquer sinais visíveis de deformação prévia (SATTAPAN et al., 2000).

Além dos riscos inerentes à fratura dos instrumentos, é necessário que estes apresentem flexibilidade suficiente, principalmente quando empregados em canais curvos, para se manterem na trajetória do canal sem a promoção de um desgaste exacerbado em umas das paredes dentinárias, levando ao risco de transporte do canal (SCHÄFER; DZEPINA; DANESH, 2003; SCHAFER; TEPEL, 2001), ou até mesmo a ocorrência de degraus, perfurações ou rasgos radiculares (ZHOU; PENG; ZHENG, 2013).

Por esses motivos, testes mecânicos, realizados previamente à aplicação clínica do instrumento, avaliando fatores como a resistência à fadiga cíclica, resistência torsional e a capacidade flexural, se fazem necessários a fim de se compreender o impacto que as características desses instrumentos apresentam sobre suas performances, promovendo um melhor entendimento e segurança para a aplicação clínica.

1.3 Testes Mecânicos de Instrumentos de Níquel-Titânio para Retratamento

1.3.1 Fadiga Cíclica

A fratura por fadiga cíclica ocorre quando o instrumento, girando livremente em uma curvatura, gera ciclos de tensão e compressão até exceder o limite máximo de sua resistência flexural (PARASHOS; GORDON; MESSER,

2004; PETERS, 2004). Ao rotacionar na curvatura do canal, a metade do instrumento posicionada no lado externo da curva é submetida à tensão, enquanto a metade do lado interno é submetida à compressão (PLOTINO et al., 2009). A constante repetição desses ciclos, diminui gradativamente a vida útil apresentada pelo instrumento ao longo do tempo, sendo um importante fator a ser considerado clinicamente (PARASHOS; GORDON; MESSER, 2004; SEREFOGLU et al., 2020).

A resistência à fadiga cíclica de instrumentos de NiTi é constantemente avaliada por meio de testes mecânicos, *in vitro*, que verificam a sua resistência, justamente por meio do acúmulo de fadiga em sua massa metálica, ao se gerar tais ciclos de tensão/compressão sobre o ponto de máxima flexão do instrumento (PLOTINO et al., 2009).

Poucos são os estudos que avaliaram a resistência à fadiga cíclica de instrumentos de NiTi destinados para uso em retratamento. Topçuoğlu *et al.* (2016), avaliaram tal aspecto, em relação aos instrumentos D-Race DR2 (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Suíça) e ProTaper D3 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) quando em curvaturas de 45° e 60°, encontrando maior resistência à fadiga cíclica por parte do instrumento D-Race DR2 somente quando utilizado em curvaturas de 60°.

Inan *et al.* (2012), avaliando os instrumentos R-Endo R3 (Micro-Mega, Besançon, França), ProTaper D3 (Dentsply Maillefer) e Mtwo R 25.05 (VDW, Munique, Alemanha), verificaram maior resistência à fadiga cíclica para os instrumentos R-Endo R3, sem diferenças entre os demais.

Avaliando os instrumentos ProTaper D1 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) em diferentes cinemáticas (movimento rotatório contínuo e adaptativo), Özyürek *et al.* (2017), verificaram que o movimento adaptativo (combinação do movimento rotatório contínuo e recíprocante) melhorou significativamente a resistência cíclica dos instrumentos testados.

Recentes estudos em fadiga cíclica vêm demonstrando que a temperatura na qual o instrumento é testado afeta significativamente o resultado apresentado durante esses testes, devido as alterações ocorridas sobre as fases microestruturais do instrumento (DOSANJH; PAURAZAS; ASKAR, 2017; KLYMUS et al., 2019; PLOTINO et al., 2018). Por esse motivo, tal teste deve ser realizado em temperaturas próximas da apresentada pelo corpo humano (36° ±

1°C), a fim de simular uma condição mais próxima daquela encontrada durante a prática clínica (KLYMUS et al., 2019).

Até o presente momento, apenas um estudo, realizado por Topçuoğlu *et al.* (2016), avaliou instrumentos destinados para retratamento endodôntico em temperaturas próximas da corporal. Nesse estudo, os autores avaliaram os instrumentos ProTaper D3 (Dentsply Maillefer), D-Race DR2 (FKG Dentaire) e Mtwo R 25.05 (VDW), quando imersos ou não em solução de 5% hipoclorito de sódio (NaOCl) à 37°C durante 5 minutos, verificando que, quando não imersos em NaOCl, os instrumentos D-Race DR2 apresentaram maior resistência à fadiga cíclica em relação aos instrumentos ProTaper D3 e Mtwo R 25.05, sem diferenças entre os últimos. Já a imersão em NaOCl 5%, reduziu significativamente os resultados apresentados pelos instrumentos D-Race DR2, sem afetar os demais instrumentos. Entretanto, embora tenham realizado tais testes à 37°C, tal temperatura foi utilizada somente para os instrumentos imersos em NaOCl 5%, durante o tempo de 5 minutos, sendo o subsequente teste de avaliação de fadiga cíclica realizado fora desses parâmetros.

1.3.2 Fadiga Torsional

A fratura por torção é descrita como aquela que ocorre quando a ponta do instrumento se prende à parede dentinária e o mesmo continua rotacionando, até o momento em que o limite elástico do metal é excedido, ocorrendo a fratura (MARTIN et al., 2003). Clinicamente, esse tipo de fratura está associada à excessiva aplicação de força apical durante a instrumentação (SATTAPAN; PALAMARA; MESSER, 2000).

A resistência torsional dos instrumentos está intimamente relacionada à capacidade de deflexão angular apresentada por esses. Isto é, a capacidade que o instrumento possui de se deformar elástica e plasticamente, antes da ocorrência da fratura por torção (SHEN et al., 2013). Para a prática clínica, tal propriedade é considerada como um fator de segurança, visto que a característica clínica dessa propriedade se reflete na deformação das espiras do instrumento (LOPES et al., 2011).

Os testes para verificação da resistência torsional de instrumentos endodônticos são realizados de acordo com as especificações preconizadas

pela International Organization for Standardization (ISO) 3630-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, [s.d.]), no qual os 3mm da ponta do instrumento são fixos e submetidos à torção no sentido horário ou anti-horário, até o momento de fratura. Ao contrário dos testes de fadiga cíclica, para a verificação da resistência torsional, até o momento, a temperatura parece não ser um fator influenciador do resultado (SILVA et al., 2019). Entretanto, tal evidência se refere a realização de testes torsionais em instrumentos CM-Wire e de NiTi convencional (sem tratamento térmico), necessitando-se a verificação de uma metodologia consistente para a realização de novos estudos que avaliem tal fator sobre instrumentos que apresentem diferentes tratamentos térmicos.

Quanto ao número de estudos que avaliaram a resistência torsional e a capacidade de deflexão angular de instrumentos de NiTi destinados a retratamento, novamente, é verificada uma escassez de dados. Lopes *et al.* (2011), ao avaliarem os instrumentos Mtwo R 15.05 e 25.05 (VDW) e ProTaper D2 e D3 (Dentsply Maillefer) verificaram que os instrumentos ProTaper D2 apresentaram a maior resistência ao torque, seguidos dos instrumentos Mtwo R 25.05, ProTaper D3 e Mtwo R 15.05. Já em relação à deflexão angular, verificaram que os instrumentos Mtwo 15.05 demonstraram a maior capacidade de deformação prévia à fratura, seguidos dos instrumentos Mtwo R 25.05, ProTaper D2 e ProTaper D3.

Em outro estudo, Hussne *et al.* (2011), avaliando, entre outros fatores, a resistência torsional e a deflexão angular dos instrumentos ProTaper D1, D2 e D3 (Dentsply Maillefer), R-Endo R1, R2 e R3 (Micro-Mega) e Mtwo R 15.05 e 25.05 (VDW), verificaram que os instrumentos ProTaper D1 demonstraram significativa maior resistência torsional, havendo diferenças entre todos os grupos exceto entre os instrumentos R-Endo R1 e ProTaper D2; e Mtwo R 25.05 e ProTaper D3. Quanto à deflexão angular, os maiores resultados foram verificados pela ProTaper D3 e Mtwo R 15.05, sem diferenças significativas entre ambos.

Em situações de retratamento, o instrumento está constantemente em contato com o material obturador e a parede dentinária e, por essa razão, é necessário que o instrumento apresente certa resistência torsional (LOPES et al., 2011), a fim de evitar uma indesejada fratura que possa inviabilizar a terapia.

1.3.3 Capacidade Flexural

A capacidade flexural de um instrumento de NiTi está diretamente relacionada com o resultado apresentado quando utilizado na curvatura do canal radicular (SCHÄFER; DZEPINA; DANESH, 2003). Clinicamente, tal propriedade representa que um instrumento com maior flexibilidade possui a capacidade de causar menores alterações na morfologia da curvatura do canal quando comparado a aqueles com menor flexibilidade (SCHÄFER; DZEPINA; DANESH, 2003).

Bem como os testes de resistência torsional, a verificação da capacidade flexural de um instrumento segue as especificações da ISO 3630-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, [s.d.]). Nesse teste, a flexibilidade é determinada pela fixação dos 3mm da ponta do instrumento, e pela aplicação e medição de uma força até se obter uma angulação de 45°.

Até o momento, apenas um estudo avaliou a capacidade flexural de instrumentos de NiTi destinados para uso em retratamentos endodônticos. Hussne *et al.* (2011), além de verificarem a resistência torsional e deflexão angular dos instrumentos ProTaper D1, D2 e D3 (Dentsply Maillefer), R-Endo R1, R2 e R3 (Micro-Mega) e Mtwo R 15.05 e 25.05 (VDW), avaliaram a capacidade flexural dos mesmos. Nesse sentido, os autores determinaram que os instrumentos destinados para remoção do material obturador em terço apical, apresentaram maior flexibilidade que aqueles destinados para os terços cervical e médio, sendo o instrumento Mtwo 15.05 o que apresentou maior flexibilidade entre os testados.

Por meio da revisão da literatura disponível referente às performances mecânicas de instrumentos de NiTi destinados para uso em retratamento endodôntico, se faz evidente a falta de informações sobre tais instrumentos. Ainda, visto a grande quantidade destes disponíveis no mercado, as suas verificações se fazem necessária. Portanto, no presente estudo, os seguintes instrumentos foram avaliados.

1.4 Pro-R

Pro-R (MK Life, Porto Alegre, Brasil) é um sistema de instrumentos reciprocantes indicados para a desobturação de canais em retratamento. Segundo o fabricante, o sistema possui três instrumentos com diferentes diâmetros de ponta e conicidades variáveis (#25.08; #40.06; #50.05), com 25mm de comprimento, secção transversal em hélice dupla e tratamento térmico semelhante ao M-Wire, sendo preconizado o uso de apenas um instrumento para a desobturação de todos os terços, escolhido de acordo com o caso (“MK Life - Limas Pro-R - Limas Reciprocantes”, [s.d.]).

1.5 Logic RT

ProDesign Logic RT (Easy Equipamentos Odontológicos, Belo Horizonte, Brasil) é um sistema composto por três instrumentos rotatórios contínuos. De acordo com o fabricante, o primeiro instrumento, possui um diâmetro de ponta #30 e conicidade .10 nos primeiros 3mm, uma secção transversal em hélice dupla, sendo destinado para a remoção do material obturador do terço cervical; o segundo, possui um diâmetro de ponta #25 e conicidade .08 nos primeiros 3mm, designado para remoção do material obturador em terço médio; e o terceiro, apresenta um diâmetro de ponta #20 e conicidade .06 nos primeiros 3mm, para utilização no terço apical. Ainda de acordo com o fabricante, os instrumentos #25.08 e #20.06 possuem secção transversal em hélice tripla. Todos os instrumentos apresentam uma liga metálica com tratamento térmico CM-Wire, e são comercializados nos comprimentos de 21 e 25mm (“Bassi Easy - ProDesign Logic RT”, [s.d.]).

1.6 Retratamento MK

Retratamento MK (MK Life, Porto Alegre, Brasil) é um conjunto de três instrumentos rotatórios contínuos. Também de acordo com o fabricante, o primeiro instrumento, destinado para uso em terço cervical, possui 16mm de comprimento, diâmetro de ponta #30 e conicidade .09; o segundo, para uso em

terço médio, apresenta 18mm de comprimento, diâmetro de ponta #25 e conicidade .08; e o terceiro, para utilização em terço apical, possui 22mm de comprimento, diâmetro de ponta #20 e conicidade .07. Todos os instrumentos apresentam secção transversal romboidal e liga de NiTi convencional (“MK Life - Lima Retratamento - Limas Rotatórias”, [s.d.]).

1.7 ProTaper Retreatmento

ProTaper Retreatmento (Dentsply/Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, EUA) é mais um sistema composto por três instrumentos rotatórios contínuos. O primeiro (D1), para remoção do material obturador na porção cervical, possui 16mm de comprimento, diâmetro de ponta #30 e conicidade .09 nos primeiros 3mm; o segundo instrumento (D2), destinado ao uso no terço médio, possui 18mm de comprimento, diâmetro de ponta #25 e conicidade .08 em seus primeiros 3mm; e o terceiro instrumento (D3), para uso em terço apical, têm 22mm de comprimento, diâmetro de ponta #20 e conicidade .07 em seus primeiros 3mm (SÓ et al., 2008, 2012). Ainda, esses instrumentos apresentam secção transversal triangular convexa e liga de NiTi convencional (SÓ et al., 2008, 2012).

Para esse estudo, foram selecionados apenas os instrumentos correspondentes ao diâmetro #25 de cada sistema, por serem aqueles que possuem maior atuação nas zonas de curvatura dos canais. Portanto, o objetivo desse estudo foi o de avaliar os instrumentos Pro-R #25.08, Logic RT #25.08, Retratamento MK #25.08 e ProTaper Retratamento D2 #25.08, quanto as suas resistências à fadiga cíclica em temperatura corporal simulada, capacidade flexural e resistência torsional.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar as propriedades mecânicas de diferentes instrumentos de níquel-titânio utilizados para retratamentos endodônticos.

2.2 Objetivos Específicos

Investigar a resistência à fadiga cíclica em temperatura corporal simulada e controlada dos seguintes instrumentos de níquel-titânio destinados para uso em retratamento endodôntico: Pro-R #25.08, Logic RT #25.08, Retratamento MK #25.08 e ProTaper Retreatmento D2 #25.08;

Avaliar, em microscopia eletrônica de varredura, as características topográficas das fraturas dos instrumentos após os testes de fadiga cíclica.

Investigar a capacidade flexural dos instrumentos: Pro-R #25.08, Logic RT #25.08, Retratamento MK #25.08 e ProTaper Retreatmento D2 #25.08;

Investigar a resistência torsional dos instrumentos: Pro-R #25.08, Logic RT #25.08, Retratamento MK #25.08 e ProTaper Retreatmento D2 #25.08;

Verificar, após os testes de resistência torsional, as características das fraturas dos instrumentos testados, por meio de microscopia eletrônica de varredura.

3. ARTIGO CIENTÍFICO

Weissheimer, T., Heck, L., Calefi, P.H.S., Alcalde, M.P., da Rosa, R.A., Vivan, R.R., Duarte, M.A.H. and Só, M.V.R. (2020). Evaluation of the mechanical properties of different nickel–titanium retreatment instruments. *Aust Endod J.* <https://doi.org/10.1111/aej.12474>

Evaluation of the mechanical properties of different nickel-titanium retreatment instruments

Theodoro Weissheimer¹; Luana Heck¹; Pedro Henrique Souza Calefi², Murilo Priori Alcalde³; Ricardo Abreu da Rosa¹; Rodrigo Ricci Vivan²; Marco Antonio Hungaro Duarte²; Marcus Vinicius Reis Só¹

1. Department of Conservative Dentistry, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil;

2. Department of Operative Dentistry, Endodontics and Dental Materials, Bauru School of Dentistry, University of São Paulo;

3. Health Science Center, Sacred Heart University, Bauru, São Paulo.

Abstract

This study investigated the cyclic fatigue, bending, torsional resistance, and angular deflection of Pro-R 25.08; Logic RT 25.08; MK Retreatment 25.08 (MK RT); and ProTaper Retreatment D2 instruments. Cyclic fatigue test was performed until fracture in a custom stainless-steel device with water bath equipment to simulate body temperature. Fracture time was recorded. Number of cycles was calculated. Resistance to bending at 45°, torsional resistance, and angular deflection were evaluated. The fracture surfaces were examined by scanning electron microscopy. Statistical analysis was performed with one-way ANOVA and Tukey and Kruskal-Wallis and Dunn tests. Pro-R and Logic RT presented the highest cyclic fatigue ($p < 0.05$). D2 had higher strength to bend than Pro-R and Logic RT ($p < 0.05$). Logic RT showed the highest torque and angular deflection ($p < 0.05$), without differences when compared to D2 ($p > 0.05$). Instruments performances were dependent on their geometrical features and heat treatments.

Keywords: Body temperature, cyclic fatigue, NiTi alloy, strength to bend, torsion

Introduction

The need for endodontic retreatment is mainly due to the presence of persistent or secondary bacterial infection (1). Several techniques have been proposed for the removal of the filling material. However, none can completely remove gutta-percha and the endodontic sealer from the root canal system (2). Studies have already shown the effectiveness of nickel-titanium (NiTi) instruments specifically designed for these situations (3,4).

The NiTi alloy can be presented in 3 microstructural phases (austenite, martensite, and R-phase). Conventional NiTi alloy instruments present a high level of elasticity, mainly containing austenite phase, and when induced to temperature drops or mechanical stress, a martensite transformation occurs, presenting a shape memory effect, increasing its flexural resistance (5,6). However, these instruments are also subject to failure due to torsional fracture or cyclic fatigue (7).

Therefore, technologies such as different geometries, kinematics, and thermal treatments, modifying the temperature required to obtain the austenite-martensite transformation, have been proposed to improve the performance of NiTi instruments (8-16). Pro-R #25.08 (Pro-R - MK Life, Porto Alegre, Brazil) is a 25mm length reciprocating instrument that presents an alloy with M-Wire treatment and a double helix cross-section. ProDesign Logic RT #25.08 (Logic RT - Easy Equipamentos Odontológicos, Belo Horizonte, Brazil), a 25mm length rotary instrument presenting CM-Wire treatment on its alloy with a triple helix cross-section. MK Retreatment #25.08 (MK RT - MK Life, Porto Alegre, Brazil), an 18mm length rotary instrument without heat treatment presenting a rhomboidal cross-section. And ProTaper Retreatment D2 #25.08 (D2 - Dentsply/Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, USA), also an 18mm length rotary conventional NiTi instrument with a convex triangular cross-section.

NiTi retreatment instruments move with their tip in close contact with the filling material, being frequently subject to locking, requiring a specific resistance to torsion (17). These instruments must also present enough flexibility to reduce the potential risk of canal transportation (18). Several studies evaluated the

mechanical performance of retreatment NiTi instruments (17-20) but, recent data have shown that different temperatures at which NiTi instruments are subjected can alter the properties of their alloy, affecting their flexural strength (21-23), without any effect on their torsional behavior, regardless of heat treatment (24).

For these reasons, due to the need for studies evaluating the performance of instruments at body temperature, this study aimed to evaluate the mechanical properties of four NiTi retreatment instruments: Pro-R #25.08, ProDesign Logic RT #25.08, MK Retreatment #25.08 and ProTaper Retreatment D2 #25.08. The null hypotheses of the study are: (i) there are no differences in the cyclic fatigue resistance of the tested instruments; (ii) there are no differences in the bending capacity of the instruments; (iii) there are no differences in the torsional strength of the tested instruments.

Materials and methods

Sample size calculation was performed before the mechanical testing using G*Power v.3.1 for Mac (Heinrich Heine, University of Düsseldorf, Düsseldorf, Germany) and by selecting the Wilcoxon–Mann-Whitney test. The alpha-type error of 0.05, beta power of 0.95, and N2/N1 ratio of 1 were also stipulated. The test calculated eight samples for each group as the ideal size for noting significant differences. However, an additional 20% of the real instruments were used to compensate for atypical values that might lead to sample loss.

A total of 80 NiTi instruments were selected for this study. The samples were divided into four groups (n=20) as follows: Pro-R #25.08 (Pro-R); MK Retreatment #25.08 (MK RT); ProTaper Retreatment D2 #25.08 (D2); and ProDesign Logic RT #25.08 (Logic RT).

Pro-R is a 25mm length reciprocating NiTi instrument that presents an alloy with M-Wire treatment, a #25mm tip, and .08 taper on its first 3mm with a double helix cross-section. Logic RT is a 25mm length rotary NiTi instrument presenting CM-Wire treatment on its alloy, #25mm tip, and .08 taper on its first 3mm with a triple helix cross-section. MK RT is an 18mm length rotary

conventional NiTi instrument, with a #25mm tip and .08 taper presenting a rhomboidal cross-section, and D2 is also an 18mm length rotary conventional NiTi instrument, presenting a #25mm tip and .08 taper on its first 3mm with a convex triangular cross-section.

Pro-R and MK RT instruments are commercialized in sterile blisters packs. Since Logic RT and D2 instruments are not commercialized in sterile blister packs, these instruments were subjected to sterilization process in an autoclave (Bioclave 12L, Saevo, Ribeirão Preto, São Paulo, Brazil) for 16 minutes at a temperature of $128^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ and a pressure of $1,7\text{kgf/cm}^2 \pm 0,4$, in order to simulate clinical conditions. Previously to the mechanical tests, all files were inspected under a stereomicroscope (Carls Zeiss, LLC, EUA) at 16x magnification to detect possible defects or deformities; none were discarded.

Cyclic Fatigue Test

The cyclic fatigue test was performed using a custom-made device that simulated an artificial canal made of stainless steel, with a 60° angle of curvature and a 5-mm radius of curvature reproducing the size and taper of the instruments. The curvature of the artificial canal was fitted onto a cylindrical guide made of the same material. An outer arch had a 1-mm-deep groove that served as a guide path for the instruments, which kept the instruments on the curvature, allowing them to rotate or reciprocate freely during the test. The device allowed an accurate and reproducible position of the curvature to be established for all the instruments. The same device was used in previous studies (25-27).

This test was performed at body temperatures ($36^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$) using a histology water bath equipment (Leica HI 1210), which allowed to control the temperature (28). A total of 600 mL of water was used to fill the equipment container to the desired level, allowing the simulated canal to be submerged on the water. The temperature was controlled using a digital thermometer of the equipment and infrared thermometer during all the test.

The instruments were coupled to a VDW Silver Motor (VDW, Munich, Germany), and speed and torque were programmed according to the manufacturer's recommendations: Pro-R instruments were operated with the "Reciproc ALL" program (300rpm) in reciprocating motion and Logic RT (900rpm and 4Ncm), MK RT (350rpm and 2Ncm), and D2 (500rpm and 4Ncm) in rotary motion.

All instruments were activated until a fracture occurs. A digital chronometer measured the time to fracture, and video recordings were made during all the tests. The time to fracture was multiplied by the number of rotations per minute (rpm) to obtain the number of cycles to fracture (NCF) for each instrument.

Bending and Torsional Tests

Previously to the torsional test, ten instruments of each system were subjected to the bending test. The bending test was performed using a torsion machine (Analógica, Belo Horizonte, Brazil), adapted to the ISO 3630-1 specifications to verify the flexibility and maximum force required to bend the files at 45° angular deflection, as previously reported (18).

Instruments were fixed at 3mm from the tip and perpendicularly to the motor axis. The bending angle (45°) was measured and controlled by a resistive angular transducer connected to a process controller. The force required to bend the instruments was automatically measured by the load cell and recorded by a machine's specific program (MicroTorque; Analógica).

After the bending tests, the torsional test was performed, following the ISO 3630-1 specifications, as previously described (18). Torque and angular rotation were measured throughout the entire test. The values of ultimate load and angular rotation (°) were provided by the same torsion machine and program previously described. Before testing, the handle of all instruments was removed when they attached to the torsion shaft. The 3mm of the instrument tip was clamped to a geared motor and then started in the counterclockwise motion (2rpm) for all groups.

Scanning Electron Microscopy Evaluation

All instruments were examined under a scanning electron microscopy (SEM) to verify the topographic features of the fragment fractures. Before SEM, the instruments were cleaned in an ultrasonic device (L100, Schuster, Santa Maria, RS, Brazil) in distilled water for 3 minutes. The instruments' fracture surface was examined at 100x magnification in the cross-sectional direction and transversally at 50x magnification after cyclic fatigue testing, and at 150x and 250x magnification in the instruments cross-section after torsional testing.

Statistical Analysis

Shapiro-Wilk test was performed to verify the presence or absence of normality. One-way analysis of variance and Tukey's post hoc tests were used for multiple and individual comparisons on the cyclic fatigue and torsional results. Kruskal-Wallis and Dunn post hoc tests were used for multiple and individual comparisons on the bending and angular deflection results. The Prism 6.0 software (GraphPad Software Inc., La Jolla, CA, USA) was used as the analytical tool, and the level of significance was set at 5%.

Results

The values (mean and standard deviation) of cyclic fatigue, bending, and torsional resistance (torque maximum load and angle of rotation) tests are presented in Table 1. Pro-R and Logic RT presented higher cyclic fatigue values than MK RT and D2 ($p < 0.05$).

D2 had higher strength to bend when compared to Pro-R and Logic RT ($p < 0.05$), but similar to MK RT ($p > 0.05$). Logic RT presented the lowest values ($p < 0.05$), except when compared to Pro-R ($p > 0.05$).

After the torsional test, Logic RT presented the highest torque and angular deflection values ($p < 0.05$), but without differences only when compared to D2 ($p > 0.05$). MK RT showed the lowest torque ($p < 0.05$), except when compared with Pro-R ($p > 0.05$).

SEM evaluation of the fragment surfaces showed typical cyclic fatigue and torsional failure for all the instruments analyzed. Instruments subjected to the cyclic fatigue test showed ductile morphologic characteristics and did not present plastic deformation on their helical shafts (Figure 1). Following the torsional test, the instruments showed abrasion marks and fibrous dimples near the center of the rotation (Figure 2).

Table 1. Mean (and standard deviation) of the cyclic fatigue (NCF), bending ($^{\circ}$), torque (Ncm) and angular deflection ($^{\circ}$) of the tested instruments.

Instruments	Cyclic Fatigue (NCF)	Bending ($^{\circ}$)	Torque (Ncm)	Angular Deflection ($^{\circ}$)
Pro-R	953.1 ^a (155)	1.27 ^{bc} (0.42)	1.80 ^{bc} (0.41)	319.7 ^b (67.93)
Logic RT	867.2 ^a (289.6)	0.86 ^c (0.21)	2.51 ^a (0.49)	455.5 ^a (122.9)
MK RT	265.1 ^b (125.7)	2.04 ^{ab} (0.29)	1.40 ^c (0.44)	336.5 ^b (41.66)
D2	255.8 ^b (63.24)	2.51 ^a (0.28)	2.08 ^{ab} (0.48)	360.4 ^{ab} (50.65)

Different lowercase letters denote statistically significant differences in each column ($p < 0.05$).

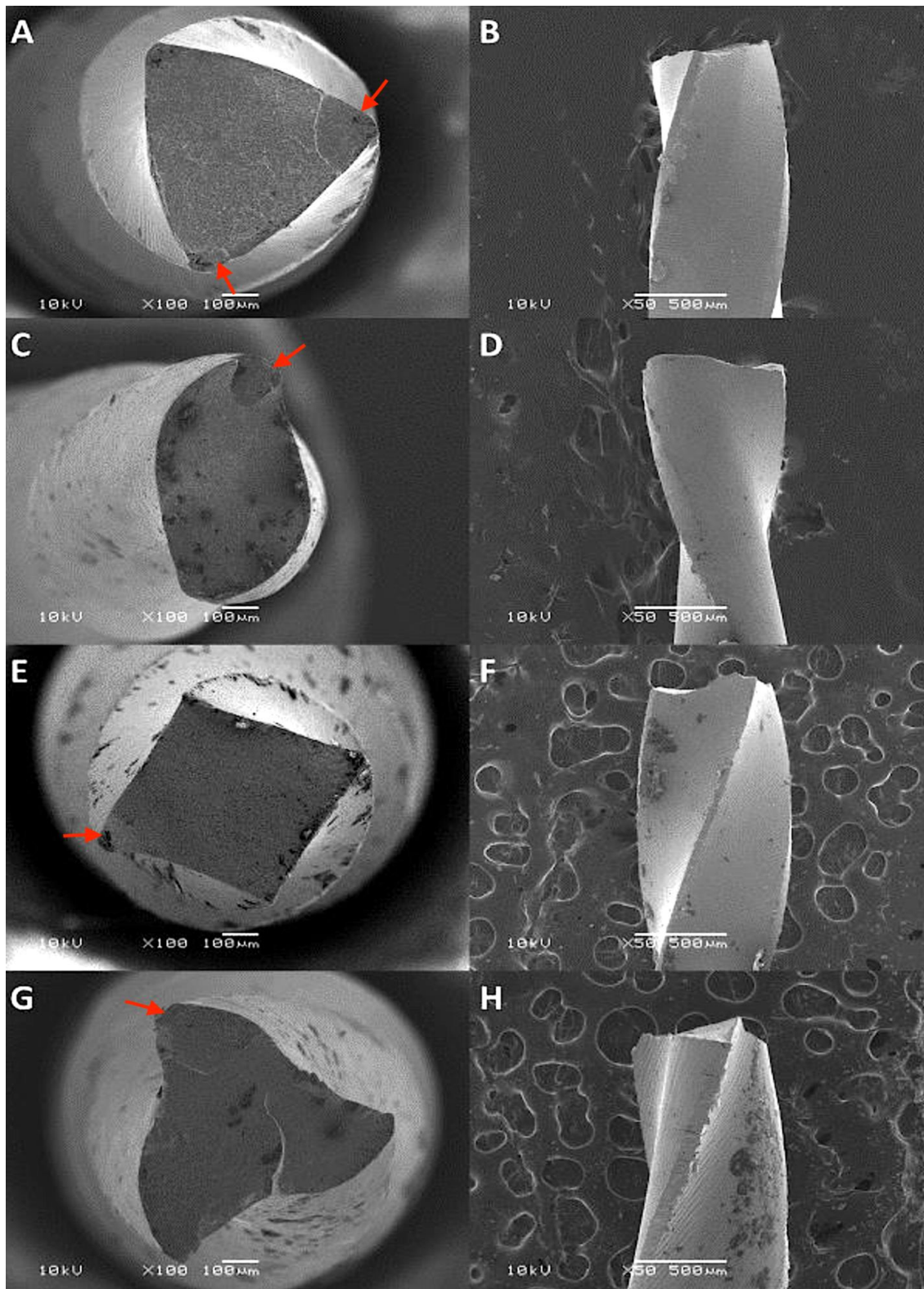


Figure 1. Scanning electron microscopy images of the fracture surfaces of D2 (A and B), Pro-R (C and D), MK RT (E and F) and Logic RT (G and H) instruments after cyclic fatigue test.

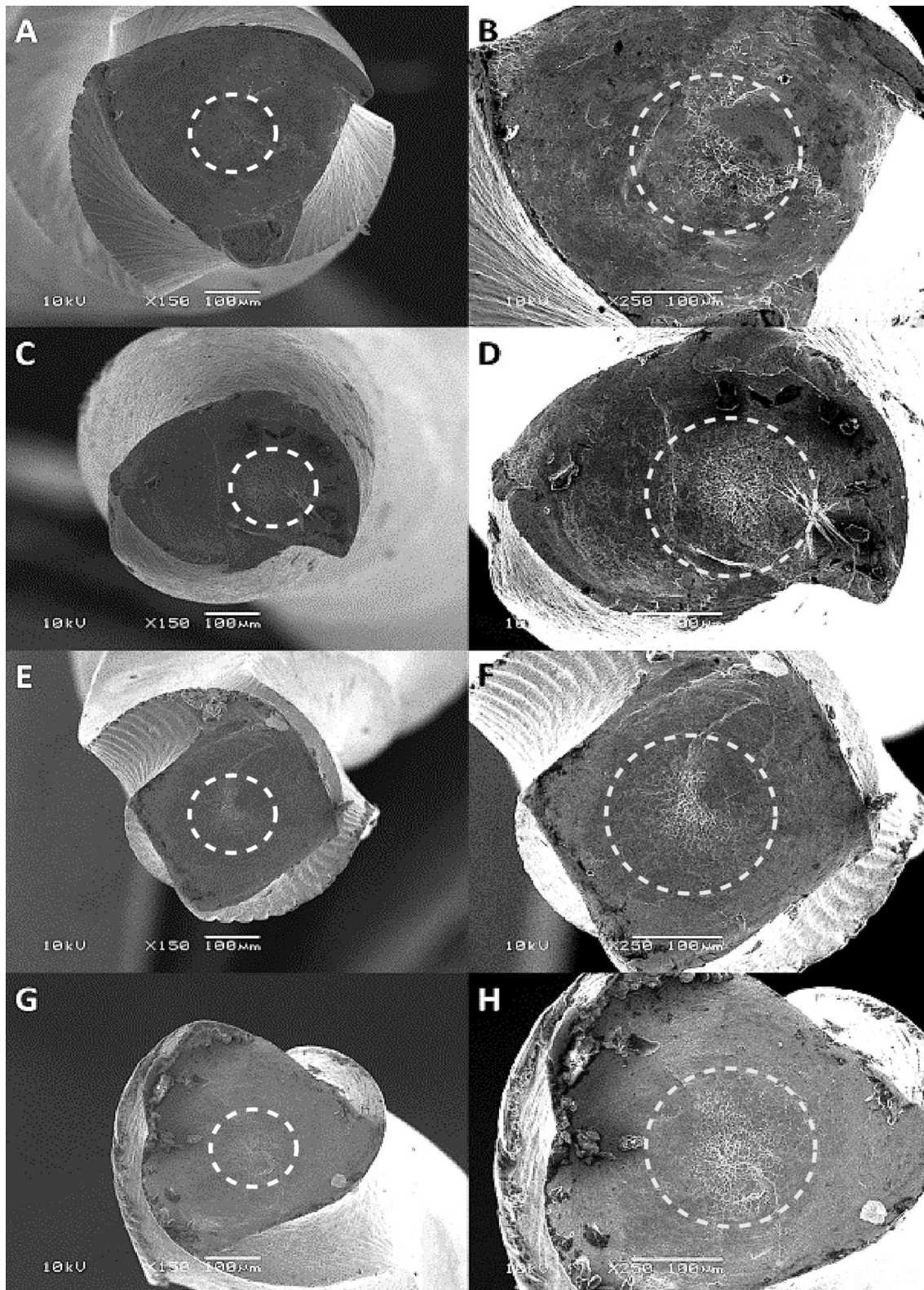


Figure 2. Scanning electron microscopy images of the fracture surfaces of D2 (A and B), Pro-R (C and D), MK RT (E and F) and Logic RT (G and H) instruments after torsional resistance test.

Discussion

NiTi instruments can be presented in three microstructural phases. The austenitic phase provides superelastic properties to the NiTi alloy, making the instruments harder and stiffer. The R-phase is a rhombohedral distorted phase before the martensitic transformation. Finally, the martensitic phase provides the alloy more ductility, making it easier to be deformed and possessing a shape memory effect (5,6,13). These transformations are temperature and stress-induced (5,13). Therefore, to increase the instruments' flexibility by altering the austenite-martensite transformation temperature, several heat treatments of the NiTi alloys have been proposed (6).

Knowing that temperature influences the microstructural phase transformation and, consequently, the performance of the instruments regarding cyclic fatigue resistance (21-23), and that, when in clinical conditions, these instruments are subjected to temperatures ranging those presented by the patient's body ($36^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$), it is necessary to verify the resistance to cyclic fatigue of instruments with different alloys when subjected to this conditions.

It is also necessary that the instruments are mounted in a stabilized handpiece and made to rotate or reciprocate freely in an artificial canal with predefined characteristics and under specific conditions (27), characterizing the static cyclic fatigue model. Using this method, is possible to increase the internal validity and reproducibility test, allowing a better comprehension of the resistance behavior of the instrument and minimizing biases like speed and amplitude movements that, although possible to reproduce in the dynamic model, are, in clinical situations, operator-dependent (27). Therefore, although some editorials (29,30) present conclusions that criticize such tests' performance, they are still valid and allow the verification of several factors associated with the instruments' performance, such as changes caused by temperature and factors associated with the instrument's geometrical features.

In this study, four different instruments designed explicitly for retreatment situations were tested, and the first null hypothesis was rejected. Pro-R and Logic RT present a heat-treated alloy, M-Wire and CM-Wire, respectively. The

temperature of the complete austenitic transformation of M-Wire instruments is around 43-50°C (6,13), which is below the temperature found inside the root canal. Thus, when inserted into body temperature, M-Wire instruments contain austenite phase with small amounts of R-phase and martensite (6,11,15), increasing its cyclic fatigue resistance compared to the conventional NiTi (6), presented by MK RT and D2. Regarding CM-Wire instruments, they are presented mainly in the martensitic phase with an austenite finish temperature around 47-55°C (6), and differently from the M-Wire instruments, it does not possess superelastic properties (10). The literature shows that CM-Wire instruments are more flexible and resistant to cyclic fatigue compared to M-Wire instruments (6,13). This study did not find differences between Pro-R (M-Wire) and Logic-RT (CM-Wire) ($p > 0.05$). This result can probably be explained by the kinematics and rotational speed of both instruments. Pro-R is an instrument operated in reciprocating motion with speed set at 300rpm and Logic RT in rotary motion at 900rpm. Studies have shown that reciprocating motion can improve the cyclic fatigue resistance of the instruments (9) and that in higher rotational speeds, the instrument is subjected to more rubbing within the canal. Thus, more cycles of tension and compression are created, leading to decreased resistance in curved canals (7,16).

MK RT and D2 are presented in conventional NiTi alloy. Thus, according to previous studies, when in body temperature, these instruments are mainly in austenitic phase, reducing its flexibility and resistance to cyclic fatigue (6,13). This can be the probable explanation for MK RT and D2 instruments' lower results after cyclic fatigue ($p < 0.05$). Also, both instruments were designed to work only in the coronal and middle third. This study used them in a 60° angle of curvature and a 5-mm radius of curvature, located 5mm from their tips. According to a previous study (18), instruments specifically projected to these root thirds are less flexible due to their larger diameter and, since both presents reduced lengths when inserted into curved canals, there is a tendency for the larger diameter of the instrument to suffer higher stress, resulting in less resistance (19).

Bending stiffness is related to the instrument's capacity to follow the curvature of the root canal and reduce the risk of canal transportation (13). Due

to the results found in this study, the second null hypothesis was also rejected. Logic RT presented the lower results ($p < 0.05$), probably due to its CM-Wire, that present lower ultimate tensile strength than the other instruments tested (19). Although it is reported that M-Wire instruments present greater flexibility than conventional NiTi instruments (10), in this study, Pro-R and MK RT did not differ ($p > 0.05$), probably because of their geometrical features.

In retreatments situations, the instruments work with intimate contact with the filling material and the dentin walls. Therefore, some resistance to torsion is necessary to avoid complications due to fracture of the instrument (17). Torsional resistance is mainly related to the instrument's cross-section and mass volume of metal. Thus, instruments with larger diameters may present higher torsional resistance (12,14). According to the results, the third null hypothesis was rejected.

In this study, all instruments had the same tip and taper diameters to reduce bias. Therefore, they only differ in their cross-section geometries and length. Logic RT presented the highest values regarding torsional resistance and angular deflection ($p < 0.05$), but without differences when compared to D2 ($p > 0.05$). Logic RT and D2 present a triple helix and convex triangular cross-section, respectively. These results corroborate with other studies in which already had concluded that instruments presenting these cross-section geometries are more torque resistance (12,14).

D2 and Pro-R also presented similar torsional resistance and angular deflection results ($p > 0.05$), probably because of their cross-section. Although these instruments have the same taper, Pro-R has a double helix S-shaped cross-section. According to a previous study (14), this cross-section is asymmetrical and has a smaller area. Therefore, the stress is poorly distributed, being more prone to fracture. However, it is necessary to emphasize that, due to the kinematics, reciprocating instruments are less susceptible to torsional fracture (20). MK RT presented the lowest values to torsional fracture ($p < 0.05$), but with no differences when compared to Pro-R ($p > 0.05$). This finding agrees with a previous study (8), which concluded that rhombus-shaped instruments are less resistant to torsional loadings.

Regarding angular deflection, this characteristic is associated with the plastic and elastic deformation of the instrument before it reaches the torsional failure, functioning as a safety factor in clinical situations (17). It has been reported that CM-Wire instruments exhibit a more significant angular deflection compared to M-Wire and conventional NiTi instruments (6). Therefore, the results of this study are partially following this sentence because Logic RT presented the greater angular deflection among the instruments tested ($p < 0.05$), except when compared to the D2 instrument ($p > 0.05$).

The SEM analysis of the instruments subjected to the cyclic fatigue test showed crack initiation areas that propagated over a single or in multiple planes and the presence of numerous dimples with varied forms. Also, no plastic deformation of the helical shafts was observed, agreeing with other studies (16,19). The SEM analysis showed concentric abrasion marks and fibrous dimples at the center of rotation for torsional failure, also agreeing with other studies (17,24).

Based on this study's results, it is possible to infer that clinically, Pro-R and Logic RT may present a more significant safety when used in curved canals. It is also possible to infer that all the tested instruments present some safety regarding torsion and angular deflection. Although generating relevant knowledge about these instruments, this study did not evaluate all their mechanical properties. Therefore, other aspects, such as their efficiency in removing filling material, centering ability, canal transportation, dentin removal, and debris formation, were not assessed. Other studies must be performed to evaluate these outcomes.

With this study, it is possible to conclude that Pro-R and Logic RT presented higher resistance to cyclic fatigue, probably related to their cross-section designs and heat treatments. The results were dependent on the instruments' geometrical features and heat treatment regarding bending, torque to fracture, and angular deflection.

References

1. Siqueira JF, Rôças IN, Ricucci D, Hülsmann M. Causes and management of post-treatment apical periodontitis. *Br Dent J* 2014; 216: 305–12.
2. Rossi-Fedele G, Ahmed HMA. Assessment of Root Canal Filling Removal Effectiveness Using Micro-computed Tomography: A Systematic Review. *J Endod* 2017; 43: 520–6.
3. da Silva BM, Baratto-Filho F, Leonardi DP, Henrique Borges A, Volpato L, Barletta F. Effectiveness of ProTaper, D-RaCe, and Mtwo retreatment files with and without supplementary instruments in the removal of root canal filling material. *Int Endod J* 2012; 45: 927–32.
4. Só MVR, Saran C, Magro ML, Vier-Pelisser FV, Munhoz M. Efficacy of ProTaper Retreatment System in Root Canals Filled with Gutta-Percha and Two Endodontic Sealers. *J Endod* 2008; 34: 1223–5.
5. Zhou H, Peng BIN, Zheng Y. An overview of the mechanical properties of nickel-titanium endodontic instruments. *Endod Top* 2013; 29: 42–54.
6. Zupanc J, Vahdat-Pajouh N, Schäfer E. New thermomechanically treated NiTi alloys – a review. *Int Endod J* 2018; 51: 1088–103.
7. Martín B, Zelada G, Varela P, Bahillo JG, Magán F, Ahn S, et al. Factors influencing the fracture of nickel-titanium rotary instruments. *Int Endod J* 2003; 36: 262–6.
8. Schafer E, Tepel J. Relationship Between Design Features of Endodontic Instruments and Their Properties. Part 3. Resistance to Bending and Fracture. *J Endod* 2001; 27: 299–303.
9. Ferreira F, Adeodato C, Barbosa I, Aboud L, Scelza P, Zaccaro Scelza M. Movement kinematics and cyclic fatigue of NiTi rotary instruments: a systematic review. *Int Endod J* 2017; 50: 143–52.

10. Zhou H, Shen Y, Zheng W, Li L, Zheng Y. Mechanical Properties of Controlled Memory and Superelastic Nickel-Titanium Wires Used in the Manufacture of Rotary Endodontic Instruments. *J Endod* 2012; 38: 1535–40.
11. Pereira ESJ, Gomes RO, Leroy AMF, Singh R, Peters OA, Bahia MGA, et al. Mechanical behavior of M-Wire and conventional NiTi wire used to manufacture rotary endodontic instruments. *Dent Mater* 2013; 29: e318–24.
12. Zhang EW, Cheung GSP, Zheng YF. Influence of cross-sectional design and dimension on mechanical behavior of nickel-titanium instruments under torsion and bending: A numerical analysis. *J Endod* 2010; 36: 1394–8.
13. Shen Y, Zhou HM, Zheng YF, Peng B, Haapasalo M. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. *J Endod* 2013; 39: 163–72.
14. Xu X, Eng M, Zheng Y, Eng D. Comparative study of torsional and bending properties for six models of nickel-titanium root canal instruments with different cross-sections. *J Endod* 2006; 32: 372–5.
15. Pereira ESJ, Peixoto IFC, Viana ACD, Oliveira II, Gonzalez BM, Buono VTL, et al. Physical and mechanical properties of a thermomechanically treated NiTi wire used in the manufacture of rotary endodontic instruments. *Int Endod J* 2012; 45: 469–74.
16. Lopes HP, Ferreira AAP, Elias CN, Moreira E JL, Machado de Oliveira JC, Siqueira JF. Influence of Rotational Speed on the Cyclic Fatigue of Rotary Nickel-Titanium Endodontic Instruments. *J Endod* 2009; 35: 1013–6.
17. Lopes HP, Elias CN, Vedovello GAF, Bueno CES, Mangelli M, Siqueira JF. Torsional Resistance of Retreatment Instruments. *J Endod* 2011; 37: 1442–5.
18. Hussne RP, Braga LC, Berbert FLC V, Buono VTL, Bahia MGA. Flexibility and torsional resistance of three nickel-titanium retreatment instrument systems. *Int Endod J* 2011; 44: 731–8.

19. Azim AA, Tarrosh M, Azim KA, Piasecki L. Comparison between Single-file Rotary Systems: Part 2—The Effect of Length of the Instrument Subjected to Cyclic Loading on Cyclic Fatigue Resistance. *J Endod* 2018; 44: 1837–42.
20. Tokita D, Ebihara A, Miyara K, Okiji T. Dynamic Torsional and Cyclic Fracture Behavior of ProFile Rotary Instruments at Continuous or Reciprocating Rotation as Visualized with High-speed Digital Video Imaging. *J Endod* 2017; 43: 1337–42.
21. de Vasconcelos RA, Murphy S, Carvalho CAT, Govindjee RG, Govindjee S, Peters OA. Evidence for Reduced Fatigue Resistance of Contemporary Rotary Instruments Exposed to Body Temperature. *J Endod* 2016; 42: 782–7.
22. Klymus ME, Alcalde MP, Vivan RR, Só MVR, de Vasconcelos BC, Duarte MAH. Effect of temperature on the cyclic fatigue resistance of thermally treated reciprocating instruments. *Clin Oral Investig* 2019; 23: 3047–52.
23. Yılmaz K, Uslu G, Gündoğar M, Özyürek T, Grande NM, Plotino G. Cyclic fatigue resistances of several nickel-titanium glide path rotary and reciprocating instruments at body temperature. *Int Endod J* 2018; 51: 924–30.
24. Silva EJNL, Giraldes JFN, de Lima CO, Vieira VTL, Elias CN, Antunes HS. Influence of heat treatment on torsional resistance and surface roughness of nickel-titanium instruments. *Int Endod J* 2019; 52: 1645–51.
25. Alcalde MP, Duarte MAH, Bramante CM, de Vasconcelos BC, Tanomaru-Filho M, Guerreiro-Tanomaru JM, et al. Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. *Clin Oral Investig* 2018; 9;22: 1865–71.
26. Duarte PM, Barcellos da Silva P, Alcalde MP, Vivan RR, Rosa RA da, Duarte MAH, et al. Canal Transportation, Centering Ability, and Cyclic Fatigue Promoted by Twisted File Adaptive and Navigator EVO Instruments at Different Motions. *J Endod* 2018; 44: 1425–9.

27. Martins JNR, Nogueira Leal Silva EJ, Marques D, Ginjeira A, Braz Fernandes FM, De Deus G, et al. Influence of Kinematics on the Cyclic Fatigue Resistance of Replicalike and Original Brand Rotary Instruments. *J Endod* 2020; 46: 1136–43.
28. Dosanjh A, Paurazas S, Askar M. The Effect of Temperature on Cyclic Fatigue of Nickel-titanium Rotary Endodontic Instruments. *J Endod* 2017; 43: 823–6.
29. Hülsmann M. Research that matters: studies on fatigue of rotary and reciprocating NiTi root canal instruments. *Int Endod J* 2019; 52: 1401–2.
30. Hülsmann M, Donnermeyer D, Schäfer E. A critical appraisal of studies on cyclic fatigue resistance of engine-driven endodontic instruments. *Int Endod J* 2019; 52: 1427–45.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das condições experimentais desse estudo, é possível estabelecer que as características geométricas e o tratamento térmico dos instrumentos testados apresentaram uma grande influência sobre os resultados apresentados em todos os testes realizados. Por esses motivos, se mostra, mais uma vez, a necessidade da realização de tais testes para melhor compreender o impacto desses fatores sobre o desempenho dos instrumentos quando testados para verificação de determinadas propriedades.

A realização de testes de fadiga cíclica em temperatura próxima da corporal se faz necessária, pois é sabido que a temperatura é um fator que influencia os resultados apresentados pelos instrumentos nesse teste. Dessa forma, essa condição para o teste de fadiga cíclica, com tal fator sendo controlado e ajustado para uma situação mais próxima da apresentada clinicamente, demonstra resultados mais confiáveis.

Sobre a resistência à fadiga cíclica, os instrumentos Pro-R #25.08 e Logic RT #25.08 apresentaram maiores valores até o momento da fratura em relação aos instrumentos MK Retreatment #25.08 e ProTaper D2. Isso se deve, principalmente, por conta do tratamento térmico empregado nesses instrumentos, por suas secções transversais e pelo comprimento (25mm) apresentado em relação aos demais. Clinicamente, esses são fatores que necessitam serem levados em consideração na escolha do instrumento, principalmente quando a atuação do mesmo se dará em canais curvos.

Quanto à flexibilidade do instrumento, novamente, a aplicabilidade clínica desse fator se dá durante o uso desses na curvatura dos canais. O transporte do canal pode vir a aumentar o risco de degraus, perfurações ou rasgos, podendo, também, se tornarem fatores complicadores ou até mesmo inviabilizar o retratamento. Por esse motivo, a verificação da flexibilidade dos instrumentos se faz necessária.

Nesse estudo, foi verificado que os instrumentos Logic RT #25.08 apresentaram a menor resistência para dobramento, indicando uma maior flexibilidade, mesmo embora sem diferenças quando comparado aos instrumentos Pro-R #25.08. Esse resultado, muito provavelmente está relacionado ao tratamento térmico apresentado pelo instrumento (CM-Wire).

Pode-se inferir que, quando em situação clínica, esses instrumentos apresentem um menor risco de transporte do canal durante o seu emprego em canais curvos.

Durante situações de retratamento, os instrumentos estão em constante contato com o material obturador, aumentando a chance de travamento da ponta do instrumento, seja com esse material, seja com a parede dentinária. Por isso, instrumentos destinados para uso em retratamentos endodônticos, necessitam apresentar certa resistência torsional e capacidade de deflexão angular, a fim de evitar a sua fratura durante o processo de remoção do material obturador.

Em relação à resistência torsional e à deflexão angular, os instrumentos Logic RT #25.08 apresentaram os maiores resultados, embora sem diferenças para os instrumentos ProTaper D2. Além de demonstrar que, no momento do travamento e indução da carga torsional, esses instrumentos apresentariam uma maior resistência até a fratura, os dados desse estudo demonstram que os tais instrumentos apresentariam maior deformação antes de isso ocorrer, possibilitando maior segurança na utilização clínica.

Esse estudo não coloca fim aos testes relacionados a esses instrumentos. Novos estudos que testem aspectos clínicos, como a capacidade de remoção do material obturador, a verificação do transporte do canal após a desobturação, entre outros pontos de interesse, se fazem necessários para que possam ser indicados com segurança e eficácia para a prática clínica.

Baseado nos resultados desse estudo, é possível concluir que os instrumentos Pro-R e Logic RT apresentar a maior resistência à fadiga cíclica, sendo esses resultados provavelmente relacionados as suas secções transversais e tratamentos térmicos. Em relação a capacidade flexural, resistência torsional e deflexão angular, os resultados foram dependentes das características geométricas e tratamentos térmicos dos instrumentos.

REFERÊNCIAS

AGRAWAL, P. et al. Evaluation of efficacy of different instrumentation for removal of gutta-percha and sealers in endodontic retreatment: An in vitro study. **Journal of Contemporary Dental Practice**, v. 20, n. 11, p. 1269–1273, 2019.

ALCALDE, M. P. et al. Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. **Clinical Oral Investigations**, v. 22, n. 9, p. 1865-1871, 2018.

ALFOUZAN, K.; JAMLEH, A. Fracture of nickel titanium rotary instrument during root canal treatment and re-treatment: a 5-year retrospective study. **International Endodontic Journal**, v. 51, n. 2, p. 157–163, 2018.

AZIM, A. A. et al Comparison between Single-file Rotary Systems: Part 2—The Effect of Length of the Instrument Subjected to Cyclic Loading on Cyclic Fatigue Resistance. **Journal of Endodontics**, v. 44, n. 12, p. 1837-1842, 2018.

Bassi Easy - ProDesign Logic RT. Disponível em: <<https://easy.odo.br/produtos/>>. Acesso em: 5 jan. 2021.

CHATTERJEE, K. Search designs for searching for one among the two-and three-factor interaction effects in the general symmetric and asymmetric factorials. **Annals of the Institute of Statistical Mathematics**, v. 42, n. 4, p. 783–803, 1990.

CHÉRCOLES-RUIZ, A.; SÁNCHEZ-TORRES, A.; GAY-ESCODA, C. Endodontics, Endodontic Retreatment, and Apical Surgery Versus Tooth Extraction and Implant Placement: A Systematic Review. **Journal of Endodontics**, v. 43, n. 5, p. 679–686, maio 2017.

DOSANJH, A.; PAURAZAS, S.; ASKAR, M. The Effect of Temperature on Cyclic Fatigue of Nickel-titanium Rotary Endodontic Instruments. **Journal of Endodontics**, v. 43, n. 5, p. 823–826, maio 2017.

DUARTE, P. M. et al. Canal Transportation, Centering Ability, and Cyclic Fatigue

Promoted by Twisted File Adaptive and Navigator EVO Instruments at Different Motions. **Journal of Endodontics**, v. 44, n. 9, p. 1425-1429, 2018.

DUNCAN, H.F.; CHONG, B. S. Removal of root filling materials. **Endodontic Topics**, v. 19, n. 1, p. 33–57, 2008.

FERREIRA, F. et al. Movement kinematics and cyclic fatigue of NiTi rotary instruments: a systematic review. **International Endodontic Journal**, v. 50, n. 2, p. 143-152, 2017.

FENOUL, G.; MELESS, G. D.; PÉREZ, F. The efficacy of R-Endo® rotary NiTi and stainless-steel hand instruments to remove gutta-percha and Resilon. **International Endodontic Journal**, v. 43, n. 2, p. 135–141, 2010.

GAVINI, G. et al. Nickel–titanium instruments in endodontics: a concise review of the state of the art. **Brazilian Oral Research**, v. 32, n. suppl 1, p. 44–65, 18 out. 2018.

HAMMAD, M.; QUALTROUGH, A.; SILIKAS, N. Three-dimensional Evaluation of Effectiveness of Hand and Rotary Instrumentation for Retreatment of Canals Filled with Different Materials. **Journal of Endodontics**, v. 34, n. 11, p. 1370–1373, 2008.

HÜLSMANN, M. Research that matters: studies on fatigue of rotary and reciprocating NiTi root canal instruments. **International Endodontic Journal**, v. 52, n. 10, p. 1401-1402, 2019.

HÜLSMANN, M.; DONNERMEYER, D.; SCHÄFER, E. A critical appraisal of studies on cyclic fatigue resistance of engine-driven endodontic instruments. **International Endodontic Journal**, v. 52, n. 10, p. 1427-1445.

HUSSNE, R. P. et al. Flexibility and torsional resistance of three nickel-titanium retreatment instrument systems. **International Endodontic Journal**, v. 44, n. 8, p. 731–738, ago. 2011.

INAN, U.; AYDIN, C. Comparison of Cyclic Fatigue Resistance of Three Different Rotary Nickel-Titanium Instruments Designed for Retreatment. **Journal of**

Endodontics, v. 38, n. 1, p. 108–111, 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. International Organization for Standardization. Dentistry—Root-canal Instruments—Part I: General requirements and test methods. ISO 3630-3631, 2008. [s.d.].

KAŞIKÇI B. et al. Efficiency and apical extrusion of debris: a comparative ex vivo study of four retreatment techniques in severely curved root canals. **International Endodontic Journal**, v. 50, n. 9, p. 910–918, 2017.

KLYMUS, M. E. et al. Effect of temperature on the cyclic fatigue resistance of thermally treated reciprocating instruments. **Clinical Oral Investigations**, v. 23, n. 7, p. 3047–3052, 5 jul. 2019.

KOSTI, E. et al. Ex vivo study of the efficacy of H-files and rotary Ni-Ti instruments to remove gutta-percha and four types of sealer. **International Endodontic Journal**, v. 39, n. 1, p. 48–54, 2006.

LOPES, H. P. et al. Influence of Rotational Speed on the Cyclic Fatigue of Rotary Nickel-Titanium Endodontic Instruments. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 7, p. 1013-1016, 2009.

LOPES, H. P. et al. Torsional Resistance of Retreatment Instruments. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 10, p. 1442–1445, out. 2011.

MARTIN, B. et al. Factors influencing the fracture of nickel-titanium rotary instruments. **International Endodontic Journal**, v. 36, n. 4, p. 262–266, abr. 2003.

MARTINS, J. N. R. et al. Influence of Kinematics on the Cyclic Fatigue Resistance of Replicalike and Original Brand Rotary Instruments. **Journal of Endodontics**, v. 46, n. 8, p. 1136-1143, 2020.

MK Life - Lima Retratamento - Limas Rotatórias. Disponível em: <<https://www.mklife.com.br/limas-rotatorias/lima-retratamento.html>>. Acesso em: 5 jan. 2021.

MK Life - Limas Pro-R - Limas Reciprocantes. Disponível em:

<<https://www.mklife.com.br/limas-reciprocantes-59/pro-r/limas-reciprocantes-pro-r.html>>. Acesso em: 5 jan. 2021.

NG, Y. L.; MANN, V.; GULABIVALA, K. Outcome of secondary root canal treatment: A systematic review of the literature. **International Endodontic Journal**, v. 41, n. 12, p. 1026–1046, 2008.

ÖZYÜREK, T.; YILMAZ, K.; USLU, G. Effect of adaptive motion on cyclic fatigue resistance of a nickel titanium instrument designed for retreatment. **Restorative Dentistry & Endodontics**, v. 42, n. 1, p. 34–38, 2017.

PARASHOS, P.; GORDON, I.; MESSER, H. H. Factors Influencing Defects of Rotary Nickel- Titanium Endodontic Instruments After Clinical Use. **Journal of Endodontics**, v. 30, n. 10, p. 722–725, 2004.

PARASHOS, P.; MESSER, H. H. Rotary NiTi Instrument Fracture and its Consequences. **Journal of Endodontics**, v. 32, n. 11, p. 1031–1043, 2006.

PATIL, A. et al. Efficacy of rotary and hand instrument in removing gutta-percha and sealer from root canals of endodontically treated teeth. **Journal of Contemporary Dental Practice**, v. 19, n. 8, p. 964–968, 2018.

PEREIRA, E. S. J. et al. Physical and mechanical properties of a thermomechanically treated NiTi wire used in the manufacture of rotary endodontic instruments. **International Endodontic Journal**, v. 45, n. 5, p. 469–474, 2012.

PEREIRA, E. S. J. et al. Mechanical behavior of M-Wire and conventional NiTi wire used to manufacture rotary endodontic instruments. **Dental Materials**, v. 26, n. 12, p. e318–e324, 2013.

PETERS, O. A. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: A review. **Journal of Endodontics**, v. 30, n. 8, p. 559–567, 2004.

PLOTINO, G. et al. A Review of Cyclic Fatigue Testing of Nickel-Titanium Rotary Instruments. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 11, p. 1469–1476, nov. 2009.

PLOTINO, G. et al. Cyclic Fatigue of Reciproc and Reciproc Blue Nickel-titanium

Reciprocating Files at Different Environmental Temperatures. **Journal of Endodontics**, v. 44, n. 10, p. 1549–1552, 2018.

RICUCCI, D. et al. Extraradicular infection as the cause of persistent symptoms: A case series. **Journal of Endodontics**, v. 41, n. 2, p. 265–273, 2015.

RÖDIG, T. et al. Efficacy of D-RaCe and ProTaper Universal Retreatment NiTi instruments and hand files in removing gutta-percha from curved root canals - a micro-computed tomography study. **International Endodontic Journal**, v. 45, n. 6, p. 580–589, 2012.

RÖDIG, T. et al. Efficacy of reciprocating and rotary NiTi instruments for retreatment of curved root canals assessed by micro-CT. **International Endodontic Journal**, v. 47, n. 10, p. 942–948, 2014a.

RÖDIG, T. et al. Comparison of hand and rotary instrumentation for removing gutta-percha from previously treated curved root canals: A microcomputed tomography study. **International Endodontic Journal**, v. 47, n. 2, p. 173–182, 2014b.

ROSSI-FEDELE, G.; AHMED, H. M. A. Assessment of Root Canal Filling Removal Effectiveness Using Micro-computed Tomography: A Systematic Review. **Journal of Endodontics**, v. 43, n. 4, p. 520–526, 2017.

SATTAPAN, B. et al. Defects in Rotary Nickel-Titanium Files After Clinical Use. **Journal of Endodontics**, v. 26, n. 3, p. 161–165, mar. 2000.

SATTAPAN, B.; PALAMARA, J. E. A.; MESSER, H. H. Torque During Canal Instrumentation Using Rotary Nickel-Titanium Files. **Journal of Endodontics**, v. 26, n. 3, p. 156–160, 2000.

SCHÄFER, E.; DZEPINA, A.; DANESH, G. Bending properties of rotary nickel-titanium instruments. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics**, v. 96, n. 6, p. 757–763, 2003.

SCHAFER, E.; TEPEL, J. Relationship Between Design Features of Endodontic Instruments and Their Properties. Part 3. Resistance to Bending and Fracture.

Journal of Endodontics, v. 27, n. 4, p. 299–303, abr. 2001.

SCHIRRMEISTER, J. F. et al. Effectiveness of a hand file and three nickel-titanium rotary instruments for removing gutta-percha in curved root canals during retreatment. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology**, v. 101, n. 4, p. 542–547, 2006.

SEREOFGLU, B. et al. Cyclic Fatigue Resistance of Multiused Reciproc Blue Instruments during Retreatment Procedure. **Journal of Endodontics**, v. 46, n. 2, p. 277–282, 2020.

SHEN, Y. et al. Current Challenges and Concepts of the Thermomechanical Treatment of Nickel-Titanium Instruments. **Journal of Endodontics**, v. 39, n. 2, p. 163–172, fev. 2013.

SILVA, B. M. et al. Effectiveness of ProTaper, D-RaCe, and Mtwo retreatment files with and without supplementary instruments in the removal of root canal filling material. **International Endodontic Journal**, v. 45, n. 10, p. 927-932, 2012.

SILVA, E. J. N. L. et al. Influence of heat treatment on torsional resistance and surface roughness of nickel-titanium instruments. **International Endodontic Journal**, v. 52, n. 11, p. 1645–1651, 17 nov. 2019.

SIQUEIRA, J. F. et al. Causes and management of post-treatment apical periodontitis. **British Dental Journal**, v. 216, n. 6, p. 305–312, 21 mar. 2014.

SIQUEIRA, J. F.; RÔÇAS, I. N. Clinical Implications and Microbiology of Bacterial Persistence after Treatment Procedures. **Journal of Endodontics**, v. 34, n. 11, p. 1291–1301, nov. 2008.

SÓ, M. V. R. et al. Efficacy of ProTaper Retreatment System in Root Canals Filled with Gutta-Percha and Two Endodontic Sealers. **Journal of Endodontics**, v. 34, n. 10, p. 1223–1225, out. 2008.

SÓ, M. V. R. et al. Clinical microscopic analysis of protaper retreatment system efficacy considering root canal thirds using three endodontic sealers.

Microscopy Research and Technique, v. 75, n. 9, p. 1233–1236, 2012.

SOMMA, F. et al. The Effectiveness of Manual and Mechanical Instrumentation for the Retreatment of Three Different Root Canal Filling Materials. **Journal of Endodontics**, v. 34, n. 4, p. 466–469, 2008.

TAVARES, S. J. O. et al. Supplementing filling material removal with XP-Endo Finisher R or R1-Clearsonic ultrasonic insert during retreatment of oval canals from contralateral teeth. **Australian Endodontic Journal**, p. 1–7, 2020.

TOKITA, D. et al. Dynamic Torsional and Cyclic Fracture Behavior of ProFile Rotary Instruments at Continuous or Reciprocating Rotation as Visualized with High-speed Digital Video Imaging. **Journal of Endodontics**, v. 43, n. 8, p. 1337–1342, 2017.

TOPÇUOĞLU, H. S. et al. Cyclic fatigue resistance of D-RaCe, ProTaper, and Mtwo nickel–titanium retreatment instruments after immersion in sodium hypochlorite. **Clinical Oral Investigations**, v. 20, n. 6, p. 1175–1179, 30 jul. 2016.

TOPÇUOĞLU, H. S.; TOPÇUOĞLU, G.; AKTI, A. Comparative evaluation of cyclic fatigue resistance of D-RaCe and ProTaper retreatment instruments in curved artificial canals. **International Endodontic Journal**, v. 49, n. 6, p. 604–609, jun. 2016.

TOPÇUOĞLU, H. S. et al. Evaluation of debris extruded apically during the removal of root canal filling material using ProTaper, D-RaCe, and R-Endo rotary nickel-titanium retreatment instruments and hand files. **Journal of Endodontics**, v. 40, n. 12, p. 2066–2069, 2014.

TORABINEJAD, M. et al. Outcomes of Nonsurgical Retreatment and Endodontic Surgery: A Systematic Review. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 7, p. 930–937, 2009.

VASCONCELOS, R. A. et al. Evidence for Reduced Fatigue Resistance of Contemporary Rotary Instruments Exposed to Body Temperature. **Journal of Endodontics**, v. 42, n. 5, p. 782–787, 2016.

VIEIRA, A. R. et al. Dentinal tubule infection as the cause of recurrent disease and late endodontic treatment failure: A case report. **Journal of Endodontics**, v. 38, n. 2, p. 250–254, 2012.

XU, X. et al. Comparative study of torsional and bending properties for six models of nickel-titanium root canal instruments with different cross-sections. **Journal of Endodontics**, v. 32, n. 4, p. 372-375, 2006.

ZHANG, E.-W.; CHEUNG, G. S. P.; ZHENG, Y.-F. Influence of Cross-sectional Design and Dimension on Mechanical Behavior of Nickel-Titanium Instruments under Torsion and Bending: A Numerical Analysis. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 8, p. 1394–1398, ago. 2010.

ZHOU, H. et al. Mechanical Properties of Controlled Memory and Superelastic Nickel-Titanium Wires Used in the Manufacture of Rotary Endodontic Instruments. **Journal of Endodontics**, v. 38, n. 11, p. 1535-1540, 2012.

ZHOU, H.; PENG, B. I. N.; ZHENG, Y. An overview of the mechanical properties of nickel-titanium endodontic instruments. **Endodontic Topics**, v. 29, p. 42–54, 2013.

ZUPANC, J.; VAHDAT-PAJOUH, N.; SCHÄFER, E. New thermomechanically treated NiTi alloys - a review. **International Endodontic Journal**, v. 51, n. 10, p. 1088–1103, out. 2018.

ANEXO 1 – Lista de Projetos Aprovados pela Comissão de Pesquisa (COMPESQ) da Faculdade de Odontologia da UFRGS.



UFRGS

Unidade de Pesquisa

Projetos de Pesquisa

Áreas de Atuação

Rotas de Pesquisa

Instituição

Classificação Tecnológica

Voluntário

Programa de Fomento à Pesquisa (sucesso)

Dados Gerais:

Projeto Nº:	37129	Título:	AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A FADIGA TORSIONAL E CÍCLICA DE INSTRUMENTOS DE RETRATAMENTO ENDODONTICO	
Área de conhecimento:	Endodontia	Início:	01/07/2019	Previsão de conclusão: 01/07/2020
Situação:	Projeto Desativado Desativação automática pelo sistema - projeto em andamento com previsão de conclusão inferior à data atual.		Término:	02/07/2020
Origem:	Faculdade de Odontologia Programa de Pós-Graduação em Odontologia		Projeto da linha de pesquisa: BIOCMPATIBILIDADE DE MATERIAIS	
Local de Realização:	não informado			
Não apresenta relação com Patrimônio Genético ou Conhecimento Tradicional Associado.				
Objetivo:	<p>O objetivo deste estudo é avaliar a resistência à fadiga torsional e cíclica em temperatura ambiente e corporal controlada de instrumentos de liga de níquel-titânio (NiTi), Pro-R #25.08 (MK Life, Porto Alegre, Brasil), ProTaper Retreatment D2 #25.04 (Dentsply/Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, USA), Mtwo Retreatment R #25.05 (VDW GmbH, Munich, Germany) e D-Race DR2 #25.04 (FKG Dentaire SA, La Chaux-de-Fonds, Switzerland) utilizados para retratamentos endodônticos. Os testes de torção serão baseados</p>			

Palavras Chave:
ENDODONTIA

Equipe UFRGS:

Nome: MARCUS VINICIUS REIS SO
Coordenador - Início: 01/07/2019 Término: 02/07/2020

Nome: Theodoro Weissheimer
Outra: Aluno de Mestrado - Início: 01/07/2019 Término: 02/07/2020

Avaliações:
Comissão de Pesquisa de Odontologia - Aprovado em 23/05/2019 [Clique aqui para visualizar o parecer](#)

[Retornar](#)

Avaliações:

Comissão de Pesquisa de Odontologia - Aprovado em 23/05/2019 [Clique aqui para visualizar o parecer](#)