

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE BAURU

GABRYELLA DO NASCIMENTO CAMILO

**Avaliação do comportamento mecânico de novos
sistemas rotatórios**

**Evaluation of the mechanical behavior of new
rotational systems**

BAURU

2022

GABRYELLA DO NASCIMENTO CAMILO

**Avaliação do comportamento mecânico de novos
sistemas rotatórios**

**Evaluation of the mechanical behavior of new
rotational systems**

Dissertação constituída por artigo apresentada à Faculdade de Odontologia de Bauru da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências no Programa de Ciências Odontológicas Aplicadas, na área de concentração Endodontia.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Ricci Vivan

BAURU

2022

Camilo, Gabryella do Nascimento

Avaliação do comportamento mecânico de novos sistemas rotatórios / Gabryella do Nascimento Camilo.
-- Bauru, 2022.

57p. : il. ; 31cm.

Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Odontologia de Bauru. Universidade de São Paulo, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Ricci Vivan

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação/tese, por processos fotocopiadores e outros meios eletrônicos.

Assinatura:

Data:

Universidade de São Paulo
Faculdade de Odontologia de Bauru
Assistência Técnica Acadêmica
Serviço de Pós-Graduação



FOLHA DE APROVAÇÃO


Dissertação apresentada e defendida por
GABRYELLA DO NASCIMENTO CAMILO
e aprovada pela Comissão Julgadora
em 11 de maio de 2022.





Prof. Dr. **MURILO PRIORI ALCALDE**
UNISAGRADO





Prof.^a Dr.^a **KELY FIRMINO BRUNO**
FTSA

Prof. Dr. **MARCO ANTONIO HUNGARO DUARTE**
FOB-USP

Prof. Dr. **RODRIGO RICCI VIVAN**
Presidente da Banca
FOB - USP


Prof. Dr. Marco Antonio Hungaro Duarte
Presidente da Comissão de Pós-Graduação
FOB-USP

 Al. Dr. Octávio Pinheiro Brisolla, 9-75 | Bauru-SP | CEP 17012-901 | C.P. 73
 <https://posgraduacao.fob.usp.br>
 14 | 3235-8223 / 3226-6097 / 3226-6096
 posgrad@fob.usp.br

 [posgraduacaofobusp](#)
 [@posgradfobusp](#)
 [fobuspoficial](#)
 [@Fobpos](#)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a **Deus**, pois dele vem todo meu sustento, minha coragem e determinação.

A minha mãe **Jeanne** que sempre me apoiou, não mediu esforços e me deu todo suporte para realizar o mestrado.

Ao meu filho **Antônio**, que participou diretamente desse mestrado, sendo em aulas, clínicas ou nos laboratórios de pesquisas na barriga da mamãe e esteve sempre presente e por ser minha motivação diária e é a pessoa a qual quero ser tida como exemplo.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, **Prof. Dr. Rodrigo Ricci Vivan** pela oportunidade de ser sua orientada, um professor o qual sempre tive grande admiração e me incentivou a fazer a prova do mestrado. Você é minha referência de um excelente profissional, sempre busca o equilíbrio do clínico e da ciência. Obrigada por cada palavra de incentivo, por cada crítica construtiva e por ter me apoiado a me manter firme mesmo quando tive a surpresa da gravidez. O senhor sabe que se não fosse sua ajuda não teria realizado essa etapa de minha vida. Obrigada por tudo.

Ao **Prof. Dr. Marco Antônio Húngaro Duarte** pela oportunidade de ingressar no programa coordenado pelo senhor que é uma grande referência nas pesquisas e dentro de uma das melhores Universidades do mundo. Obrigada por todo apoio, pelas sugestões e por estar sempre disponível e acessível para me ajudar.

Ao **Prof. Dr. Murilo Priori Alcalde** por todo apoio, pelos conselhos, pelas dúvidas sanadas e por estar sempre disponível para me ajudar. Você é um grande exemplo.

Aos excelentes professores do Departamento de Endodontia da FOB-USP que contribuíram de alguma forma para minha formação, obrigada pelo conhecimento compartilhado, pelas palavras de incentivo, pelas sugestões dadas e pelas experiências vivenciadas, **Prof. Dr. Clovis Bramante, Prof. Dr. Roberto Brandão Garcia, Prof. Dr. Norberti Bernardineli, Prof. Dra Flaviana Bombarda e Prof. Dra. Talita Tartari.**

Aos funcionários das dependências da faculdade, em especial ao **Edimauro de Andrade e Suely Regina Bettio**, por toda ajuda que me foi dada.

Aos amigos e colegas que fiz durante toda essa trajetória, em especial aos da minha turma de mestrado, **Larissa Borges, German Diaz e Paulo Jara**. E a todos que convivi neste período, todos muito prestativos e especiais. Obrigada por tudo **Victor Cruz, Arthur Lemos, Talita Tartari, Pedro Calefi, Gabriela Piai, Renan Furlan, Jessica Coelho, Victor Feliz, Pedro Titato, Gislene Vertuan, Flavia Vivacqua, Maricel Cardenas, Lorena Garrido, Mariana Borges e Jussaro Duque.**

As duas grandes amigas que fiz durante esse período, **Vanessa Marques** e **Leticia Conti**, que são exemplos de mulheres determinadas, inteligentes, e de um coração maravilhoso, sei que terão uma carreira brilhante, vocês duas tem todo meu carinho e admiração. Obrigada por todo apoio e incentivo.

A toda minha família no nome da minha mãe **Jeanne Nascimento**, e irmã **Danyella Nascimento**, obrigada por todo apoio, por suportarem a saudade e me fortalecerem.

Aos meus amigos **João Neto Caetano**, **Mariana Nascimento** e **Thais Natal** que sempre me apoiaram e suportaram minha ausência e distância. Obrigada por tudo.

Ao meu amigo **Luan Peixoto** que sempre esteve ao meu lado, que veio diversas vezes a Bauru, que sempre me incentivou a seguir firme no mestrado. Gratidão eterna.

A minha grande amiga e incentivadora da carreira acadêmica **Lorena Soares Praxedes** que mesmo a distância esteve e está sempre ao meu lado me apoiando e me dando forças para seguir em frente e ir em busca dos meus sonhos.

A **Profa. Dra. Kely Bruno Firmino** por todo apoio, incentivo, pelos conselhos e por me fazer apaixonar pela endodontia desde a graduação. Obrigada por todas as oportunidades que me são dadas. Você é uma grande inspiração para mim.

AGRADECIMENTOS INSTITUCIONAIS

À **Faculdade de Odontologia de Bauru - FOB-USP**, na pessoa do diretor, Prof. Dr. Carlos Ferreira dos Santos, obrigada por todas as oportunidades, que tiveram impacto no meu crescimento pessoal e profissional.

As funcionárias da **Pós-Graduação FOB-USP**, obrigada por tudo.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES)** – Código de financiamento 001. Agradeço à CAPES pelo financiamento para desenvolvimento deste trabalho com a concessão da bolsa de mestrado.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,
mas lutei para que o melhor fosse feito.

Não sou o que deveria ser,
mas Graças a Deus,
não sou o que era antes.”

Marthin Luther King

RESUMO

Avaliação do comportamento mecânico de novos sistemas rotatórios

O objetivo deste estudo foi avaliar a resistência à fadiga cíclica e torcional dos instrumentos rotatórios Trunatomy 26.04, Logic 2 25.05 e Flat File 25.04. Foram utilizados um total de 48 instrumentos, com 25 mm de comprimento, sendo divididos de acordo com os respectivos grupos (n=16). O ensaio de fadiga cíclica foi realizado em um canal artificial de aço de inoxidável com ângulo de 60° e um raio de 5 mm de curvatura, de acordo com a norma ISO 3630-1 (n=8). Os instrumentos foram ativados a 500 RPM e 1.5 N/cm de torque. Durante os ensaios, o tempo para a fratura foi aferido e, posteriormente, convertido em número de ciclos para a fratura (NCF). O Ensaio de torção, foi realizado com o objetivo de avaliar o torque (N.cm) e deflexão angular máxima dos instrumentos até a fratura. Para isso, 3 mm das pontas dos instrumentos foram fixadas em uma célula de carga e as outra extremidades conectadas a um motor rotatório reversível com velocidade de 2 RPM (n=8). Os dados obtidos foram analisados estatisticamente pelos teste de Tukey, sendo considerado um índice de significância de 5%. Os instrumentos Logic 2 25.05 e Flat File 25.04 apresentaram maior número de ciclos e tempo para a fratura em comparação com o Trunatomy 26.04 (P<0.05). Não houve diferença significativa entre Logic 2 25.05 e Flat File 25.04 (P>0.05). Em relação o teste de torção, os instrumentos Trunatomy 26.04 apresentaram menores valores de torque e deflexão angular em comparação com Logic 2 25.05 e Flat File 25.04 (P<0.05). Baseado nos objetivos propostos e na metodologia empregada que os instrumentos Trunatomy 26.04 apresentam menor resistência a fadiga cíclica, torque e deflexão angular em comparação com os instrumentos Logic 2 25.05 e Flat File 25.04.

Palavras Chave: Fadiga cíclica, Fadiga tacional, NiTi, Tratamento Térmico ligas níquel, Sistemas rotatórios

ABSTRACT

Evaluation of the mechanical behavior of new rotational systems

The aim of this study was to evaluate the cyclic and torsional fatigue resistance of the TruNatomy 26.04, Logic 2 25.05 and Flat File 25.04 rotary instruments. A total of 48 instruments, 25 mm, were used, divided according to the respective groups (n=16). The cyclic fatigue test was performed in an artificial stainless steel canal with an angle of 60° and a radius of 5 mm of curvature, according to ISO 3630-1 (n=8). The instruments were activated at 500 RPM e 1.5 N/cm of torque. During the tests, the time to fracture was measured and later converted into the number of cycles to fracture (NCF). The Torsion Test was performed with the objective of evaluating the torque (N.cm) and maximum angular deflection of the instruments until fracture. For this, 3 mm of the instrument tips were fixed in a load cell and the other ends connected to a reversible rotary motor with a speed of 2 RPM (n=8). The data obtained were statistically analyzed by the Tukey test, considering a significance level of 5%. The Logic 2 25.05 and Flat File 25.04 instruments had a higher number of cycles and time to fracture compared to the TruNatomy 26.04 ($P<0.05$). There was no significant difference between Logic 2 25.05 and Flat File 25.04 ($P>0.05$). Regarding the torsion test, TruNatomy 26.04 instruments showed lower torque and angular deflection values compared to Logic 2 25.05 and Flat File 25.04 ($P<0.05$). Based on the proposed objectives and the methodology used, Trunatomy 26.04 instruments present lower resistance to cyclic fatigue, torque and angular deflection compared to Logic 2 25.05 and Flat File 25.04 instruments.

Keywords: Cyclic Fatigue, Tocióna Fatigue, NiTi, Heat Treatment Nickel Alloys, Rotating Systems

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Imagens em microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos instrumentos após o teste de fadiga cíclica. (A) Logic 2 25.05; (B) TruNatomy 26.04; (C) Flat File 25.04 29
- Figura 2: Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) em um aumento de 200x da superfície dos instrumentos fraturados por torção (A = Logic 2 25.05; B = TruNatomy 26.04 e C = Flat File 25.04). As letras B,D e F em um aumento de 500x indicando a marca de abrasão concêntrica; As ondulações próximas ao centro de rotação são características típicas de falha de torção 30
-
-

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Média e Desvio padrão dos resultados de tempo, número de ciclos, torque e deflexão angular	28
---	----

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

NiTi Níquel-Titânio

Mev Microscópio Eletrônico de Varredura



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	ARTIGO.....	21
3	DISCUSSÃO.....	38
4	CONCLUSÃO.....	44
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Durante muitas décadas os instrumentos manuais foram utilizados para o preparo do canal radicular (PETERS, 2004; HULSMANN; PETERS; DUMMER, 2005). Entretanto, a instrumentação de canais curvos passou a ser um desafio utilizando aço inoxidável (WALIA et al., 1988; PETERS, 2004), aumentando os riscos de erros durante o procedimento, como perferções, erros no comprimento de trabalho, etc (BAUMANN, 2004; CHEUNG; LIU, 2009).

O níquel titânio foi introduzido na endodontia por Walia et al (1988). Os autores mostraram que a liga apresentava de duas a três vezes mais flexibilidade com relação ao aço inoxidável e maior resistência à torção. Após essa descoberta a preparo dos canais radiculares sofreu uma grande revolução, com respando da literatura pertinente, mostrando que a liga também apresentava maior capacidade de centralização em relação à liga usada anteriormente (PORTO CARVALHO; BONETTI; GAGLIARDI BORGES, 1999; PETERS; SCHONENBERGER; LAIB, 2001; PETTEIETE; DELANO; TROPE, 2001; PETERS, 2004; CHEUNG; LIU, 2009).

O níquel-titânio apresenta baixa rigidez, memória de forma e superelaticidade (BURSTONE; QIN; MORTON, 1985; MIURA et al., 1986; WALIA et al., 1998; THOMPSON, 2000). A memória de forma é definida como a habilidade do NiTi de deformar e retornar a sua forma original. A superelaticidade é a capacidade da liga de NiTi de sofrer altas deformações antes de fraturar.

Esses fatores ocorrem por causa das fases da liga de NiTi: Austenita (B2) e Martensita (B19) ((TORRISI, 1999; THOMPSON, 2000). A sustenita é a fase inicial, quando os átomos estão na forma cúbica cristalina. Essa fase é responsável pela memória de forma e pode ser induzida pelo aquecimento ou ausência de tensão. Quando a liga de NiTi é submetida a tensão ou resfriamento, os átomos são rearranjados em forma monoclinica cristalina com superelaticidade, chamada de fase martensítica (TORRISI, 1999; THOMPSON, 2000).

O efeito de memória de forma é consequência direta da transformação reversível entre austenita e martensita, diferentemente do aço inoxidável, onde a transformação é irreversível (THOMPSON, 2000; BAUMANN, 2004).

Os instrumentos confeccionados na liga de NiTi permitem que canais curvos sejam preparados mecanicamente usando rotação contínua (THOMPSON, 2000; BAUMAN, 2004; HAAPASSALO; SHEN, 2013). A flexibilidade faz com que a trajetória original do canal radicular seja mantida, principalmente em curvaturas severas (THOPSON, 2000; BAUMAN, 2004; ZHOUG; PENG; ZHENG, 2013).

Apesar dos instrumentos de NiTi terem melhorado a qualidade e segurança do preparo de canais curvos, uma inesperada fratura pode ocorrer, por motivos de stress flexural e torsional (SATTAPAN et al., 2000; PEDULLA et al., 2015).

A fadiga flexural ocorre por repetidas tensões de compressão e tração quando o instrumento está girando em um canal curvo (SATTAPAN et al., 2000). A fadiga torsional ocorre quando a ponta do instrumento se trava, enquanto o corpo continua rodando (SATTAPAN et al., 2000). Isso pode ocorrer em canais retos ou curvos, principalemnte em canais atrésicos, quando o instrumento recebe maior carga torsional (SATTAPAN et al., 2000; WYCOOFF; BERZINS, 2012).

A resistência à torção é caracterizada por uma carga máxima de torção e ângulo de rotação. Esta propriedade revela a capacidade do instrumento de torcer antes da fratura (ELNAGHY; ELSAKA, 2015).

Ao longo dos anos, os fabricantes foram propondo mudanças no design da seção transversal, conicidade ângulo de helicoidal, diâmetro do núcleo, distância interlaminar, design de pontas e "radial lands" dos instrumentos de NiTi para melhorar suas propriedades mecânicas e desempenho clínico (PLOTINO et al., 2009; SHEN et al., 2013; ZHOU; PENG; ZHENG, 2013; CAPAR et al., 2015a; ÖZYÜREK, 2016).

Além disso, foi relatado que a condição de superfície dos instrumentos de NiTi contribui para a resistência à fadiga porque a maioria das falhas de fadiga iniciam da superfície, especialmente na presença de alta amplitude de tensão ou defeitos superficiais (BAHIA; BUONO, 2005; LOPES et al., 2010). Assim, os fabricantes começaram a se concentrar em outros métodos para aumentar a resistência à fratura dos instrumentos, como o eletropolimento da liga de NiTi ((LOPES et al., 2010; GUTMANN; GAO, 2012; HAAPASALO; SHEN, 2013).

Recentemente, a industria endodôntico têm desenvolvimento instrumentos rotatórios com menores conicidades e design inovador, visando obter preparo

endodôntico com baixo risco de fratura de instrumentos e com excelente capacidade de modelagem. O sistema rotatório Logic 2 é um novo sistema lançado pela Easy Equipamentos Odontológico (Belo Horizonte, Brasil) que é composto por instrumentos de diâmetros 15, 20, 25, 30, 35 e 40 de conicidade 0.05 mm/mm, apresentam secção transversal em S itálico e são confeccionados com liga NiTi de Memória controlada. Sua principal característica é que todos os instrumentos tornam-se a apresentar conicidade a partir da porção da lâmina ativa que atinge o diâmetro de 1.00 mm. Sendo assim, o objetivo do fabricante é proporcionar menor desgastes de dentina pericervical.

O sistema TruNatomy, é um sistema rotatório composto por uma sequência de 5 instrumentos, sendo um para o preparo cervical (Orifice Modifier 20.08), um para o glide path (Glider 17.02) e três para a modelagem do canal radicular: Small (20.04), Prime (26.04) e Medium (36.03). As limas de modelagem apresentam secção transversal em paralelogramo descentralizado, o que oferece maior eficiência de corte, promove melhor remoção de debris e aumenta a resistência à fadiga cíclica (Elnaghy et al., 2020). Os instrumentos 26.04 apresentam menor resistência a fadiga cíclica em comparação com instrumentos de Liga CM e Blue (Elnaghy et al., 2020). Por outro lado, maior resistência do que instrumentos confeccionados com liga M-wire (Peters et al., 2020)

Por fim, um recém lançamento no mercado nacional é o sistema rotatório Flat File (MK Life, Brasil, Porto Alegre). Este sistema foi confeccionado com o conceito de design proposto por Gambarini et al. (2020), o que demonstrou que uma secção em S modificada (lisa- Flat) proporcionou maior resistência a fadiga cíclica em comparação com o S itálico convencional. De acordo com o fabricante, este sistema é composto por instrumentos de diâmetros 20, 25 e 35 de conicidade 0.04 mm/mm, liga de NiTi com tratamento térmico Gold, polimento de superfície e secção transversal em S flat. Não há nenhum estudo na literatura avaliando as propriedades mecânicas deste instrumento.

Diante do lançamento de sistemas mecanizados com propostas de preparos conservadores e com diferentes designs, torna-se oportuno a avaliação das propriedades de fadiga cíclica e torcional entre esses sistemas. O objetivo deste

trabalho foi avaliar a resistência à fadiga cíclica e torcional dos instrumentos Logic 2 25.05, Trunatomy 26.04 e Flat File 25.04. A hipótese nula é:

1. Não há diferença na resistência a fadiga cíclica entre os instrumentos;
2. Não há diferença no torque e deflexão angular entre os instrumentos;

2 ARTIGO

2 ARTIGO

O artigo presente nesta dissertação foi escrito de acordo com as instruções e diretrizes do Brazilian Oral Research para submissão de artigos.

Avaliação do comportamento mecânico de novos sistemas rotatórios

Gabryella do Nascimento Camilo¹, DDS, Murilo Piori Alcalde¹, PhD, Marco Antônio Hungaro Duarte¹, PhD, Rodrigo Ricci Vivan¹, PhD.

¹Departamento de Dentística, Endodontia e Materiais Odontológicos, Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo, Bauru, São Paulo. Department of Dentistry, Endodontics, and Dental Materials, Bauru School of Dentistry, University of São Paulo, Bauru, São Paulo, Brazil.

Titulo Rápido: Comportamento de novos sistemas

Conflito de interesse:

Os autores negam qualquer conflito de interesse.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a resistência à fadiga cíclica e torcional dos instrumentos rotatórios Trunatomy 26.04, Logic 2 25.05 e Flat File 25.04. Foram utilizados um total de 48 instrumentos, com 25 mm de comprimento, sendo divididos de acordo com os respectivos grupos (n=16).

Palavras Chave: Fadiga cíclica, Fadiga torcional, NiTi, Tratamento Térmico ligas níquel, Sistemas rotatórios

Introdução

Os instrumentos mecanizados de Níquel-Titânio (NiTi) tem sido amplamente utilizados para o preparo de canais radiculares curvos devido sua alta flexibilidade dos instrumentos, proporcionando segurança e com baixo risco de erros de instrumentação ou fratura de instrumentos (Shen et al., 2013; Kaval et al., 2016). Entretanto, a fratura dos instrumentos continua sendo uma preocupação para o clínico. Os instrumentos mecanizados de NiTi podem fraturar por duas causas: fadiga cíclica e torsional (Sattapan 2000; Pedulla et al. 2016).

A fadiga cíclica ocorre quando os instrumentos encontram-se em rotação no interior do canal radicular curvo e são submetidos a forças de tensão e contração no seu ponto máximo the flexão, o que pode levar a ruptura da liga metálica (Sattapan 2000; Pedulla et al. 2016). A fadiga torcional ocorre quando a ponta do instrumento fica aprisionada nas paredes dentinárias e o instrumento continua seu movimento de rotação, o que pode levar a uma deformação plástica e/ou ruptura do instrumento (Sattapan 2000; Pedulla et al. 2016).

Durante décadas os fabricantes tentaram desenvolver diversas modificações nos instrumentos mecanizados de NiTi com o objetivo the otimizar suas propriedades mecânicas, tais como: novos designs dos instrumentos, processo de fabricação, novas cinemáticas and diferentes tratamentos térmicos da liga de NiTi (Shen et al., 2013; Kaval et al., 2016; Pedulla et al., 2016; Karatas et al., 2016; Ozyurek et al., 2016, Zupanc et al., 2018). O tratamento térmico do NiTi proporciona um melhor arranjo da estrutura cristalina da liga metálica, o que favorece o aparecimento da fase R ou martensítica (Shen et al., 2013; Kaval et al., 2016; Zupanc et al., 2018). Geralmente, os tratamentos térmicos proporcionam maior flexibilidade, maior resistência à fadiga cíclica e maior capacidade de formação dos instrumentos quando comparador com o NiTi convencional (Shen et al., 2013; Zupanc et al., 2018).

Recentemente, a industria endodôntico têm desenvolvimento instrumentos rotatórios com menores conicidades e design inovador, visando obter preparo endodôntico com baixo risco de fratura de instrumentos e com excelente capacidade de modelagem. O sistema rotatório Logic 2 é um novo sistema lançado pela Easy Equipamentos Odontológico (Belo Horizontel, Brasil) que é composto é compostos por instrumentos de diâmetros 15, 20, 25, 30, 35 e 40 de conicidade 0.05 mm/mm, apresentam secção transversal em S itálico e são confeccionados com liga NiTi de

Memória controlada. Sua principal características é que todos os instrumentos tornam-se apresentem conicidade a partir do porção da lâmina ativa que atinge o diâmetro de 1.00 mm. Sendo assim, o objetivo do fabricante é proporcionar menor desgastes de dentina pericervical.

O sistema TruNatomy, é um sistema rotatório composto por uma sequência de 5 instrumentos, sendo um para o preparo cervical (Orifice Modifier 20.08), um para o glide path (Glider 17.02) e três para a modelagem do canal radicular: Small (20.04), Prime (26.04) e Medium (36.03). As limas de modelagem apresentam secção transversal em paralelogramo descentralizado, o que oferece maior eficiência de corte, promove melhor remoção de debris e aumenta a resistência à fadiga cíclica (Elnaghy et al., 2020). Os instrumentos 26.04 apresentam menor resistência a fadiga cíclica em comparação com instrumentos de Liga CM e Blue (Elnaghy et al., 2020). Por outro lado, maior resistência do que instrumentos com confeccionados com liga M-wire (Peters et al., 2020)

Por fim, um recém lançamento no mercado nacional é o sistema rotatório Flat File (MK Life, Brasil, Porto Alegre). Este sistema foi confeccionado com o conceito de design proposto por Gambarini et al. (2020), o que demonstrou que uma secção em S modificada (lisa- Flat) proporcionou maior resistência a fadiga cíclica em comparação com o S itálico convencional. De acordo com o fabricante, este sistema é composto por instrumentos de diâmetros 20, 25 e 35 de conicidade 0.04 mm/mm, liga de NiTi com tratamento térmico Gold, polimento de superfície e secção transversal em S flat. Não há nenhum estudo na literatura avaliando as propriedades mecânicas deste instrumento.

Diante de lançamento de sistema mecanizados com propostas de preparos conservadores e com diferentes designs, torna-se oportuno a avaliação das propriedades de fadiga cíclica e torcional entre esses sistemas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência à fadiga cíclica e torcional dos instrumentos Logic 2 25.05, Trunatomy 26.04 e Flat File 25.04. A hipótese nula é:

3. Não há diferença na resistência a fadiga cíclica entre os instrumentos;
 4. Não há diferença no torque e deflexão angular entre os instrumentos;
-
-

Material e métodos

Para realização ensaios mecânicos foi realizado um cálculo amostrar empregando o programa G*Power v3.1 for Mac (Heinrich Heine University Düsseldorf (HHU) selecionando o teste de Wilcoxon- Mann-Whitney da família do Teste t. O erro do tipo alfa de 0,05, a potência beta 0,95 e uma razão N2/N1 de 1 também foram estipulados. Um total de 10 espécimes por grupo foi indicado como o tamanho amostral ideal.

Ensaio de fadiga cíclica

Para realização dos ensaios de fadiga cíclica foram utilizados um total de 24 instrumentos (n=8): Logic 2 25.05, Trunatomy 26.04 e Flat File 25.04. Previamente aos ensaios mecânicos, todos os instrumentos foram inspecionados para avaliar possíveis defeitos ou deformidades em estereomicroscópio (Stemi 2000C; Carls Zeiss, Jena, Alemanha) com 16X de magnificação.

O teste de fadiga cíclica foi realizado em um aparato que simula uma curvatura de um canal artificial de aço inoxidável com 60⁰ de curvatura e 5 mm de raio, como descrito previamente por Alcalde et al. (2018). A curvatura do canal foi ajustada por meio de um cilindro guia (5 mm de raio) e por um arco externo que apresenta um sulco de 1 mm de profundidade, o qual serviu como guia para os instrumentos e os manteve na curvatura girando livremente.

Todos os instrumentos foram ativados com 500 rotações por minuto (RPM) e 1,5 N.cm de torque. Durante o teste, foi mensurado o tempo necessário até a fratura do instrumento, isto foi aferido por meio de um cronômetro digital e conformado por uma filmagem realizada concomitantemente ao teste. Após a mensuração do tempo para fratura, foi calculado o número de ciclos por meio do seguinte cálculo: tempo para a fratura (em segundos) X velocidade (rotação por minuto) / por 60 (NCF).

Ensaio de torção

Para este ensaio foram utilizados um total de 24 instrumentos (n=8) dos sistemas reciprocantes, previamente aos testes, todos os instrumentos tiveram o mandril removido para possibilitar a fixação na máquina de torção. Então, as extremidades dos instrumentos foram fixadas em mandris parafusáveis, sendo os primeiros 3 mm da ponta do instrumento fixada em mandril acoplado a uma célula de

torque e a outra, em um mandril conectado a um motor de engrenagem reversível.

Para iniciar o teste de torção, o motor reversível foi ativado por software especificamente projetado para esta máquina (Analógica, Belo Horizonte, Brazil), o qual promoveu uma rotação no sentido horário com velocidade de 2 rotações por minuto (RPM) para todos os grupos. Concomitantemente a rotação do motor, o software forneceu os valores de torque (N.cm) necessário para a fratura do instrumento e a angulação (°) realizada pelo motor até que haja a fratura do instrumento, a qual foi automaticamente detectada pelo equipamento, paralisando a rotação do motor. Então, os valores adquiridos pelo software foram exportados para uma planilha no Excel e foi anotado o valor de torque máximo e da a angulação realizada pelo motor no momento da fratura do instrumento.

Avaliação da superfície dos instrumentos empregados nos testes de fadiga cíclica em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Esta etapa teve como objetivo avaliar característica topográficas das superfícies fraturadas dos instrumentos submetidos a fadiga cíclica e torcional. Os instrumentos utilizados na fadiga cíclica foram avaliados com aumento de 150X e 350X por meio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV (JSM –T220A, Jeol, Tóquio, Japão) disponível no departamento de Dentística, Endodontia e Materiais Odontológicos na Faculdade de Odontologia de Bauru - Universidade de São Paulo. Já os instrumentos de fadiga torcional foi avaliado com 200X e 500X.

Resultados

Fadiga cíclica

Os valores de média e desvio padrão dos testes de fadiga cíclica estão demonstrado na Tabela 1. Os instrumentos Logic 2 25.05 e Flat File 25.04 apresentaram maior tempo e NCF em comparação com os instrumentos Trunatomy 26.04 ($P < 0.05$). Não houve diferença entre Logic 2 25.05 e Flat file 25.04 ($P > 0.05$).

Fadiga Torcional

Os valores de média e desvio padrão dos testes de fadiga torcional estão demonstrado na Tabela 1. O instrumento Logic 2 25.05 apresentou maior deflexão angular em comparação com Trunatomy 26.04 e Flat File 25.04 ($P < 0.05$). Não houve diferença estatística significativa entre Flat File 25.04 e Trunatomy 26.04 ($P > 0.05$). Em

relação ao torque, o instrumento Trynatomy 26.04 apresentou o menor torque para a fratura em comparação com Logic 2 25.05 e Flat File 25.04 ($P < 0.05$). Não houve diferença estatisticamente significativa entre Logic 2 e Flat File ($P > 0.05$).

Tabela 1. Média e Desvio padrão dos resultados de tempo, número de ciclos, torque e deflexão angular

Instrumentos	Fadiga Cíclica				Fadiga torcional			
	Tempo (s)		Ciclos (NCF)		Torque (N.cm)		Deflexão angular (°)	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Log2 25.05	195,7 ^a	23,86	1624 ^a	198	0,99 ^a	0,158	820,9 ^a	117,3
Flat File 25.04	200,7 ^a	84,16	1665 ^a	297,3	1,05 ^a	0,144	578,1 ^b	73,71
TN 26.04	79,01 ^b	7,24	655,7 ^b	60,11	0,60 ^b	0,066	588,6 ^b	32,93

Diferentes letras nas colunas indicam diferença estatística entre os grupos ($P < 0.05$).

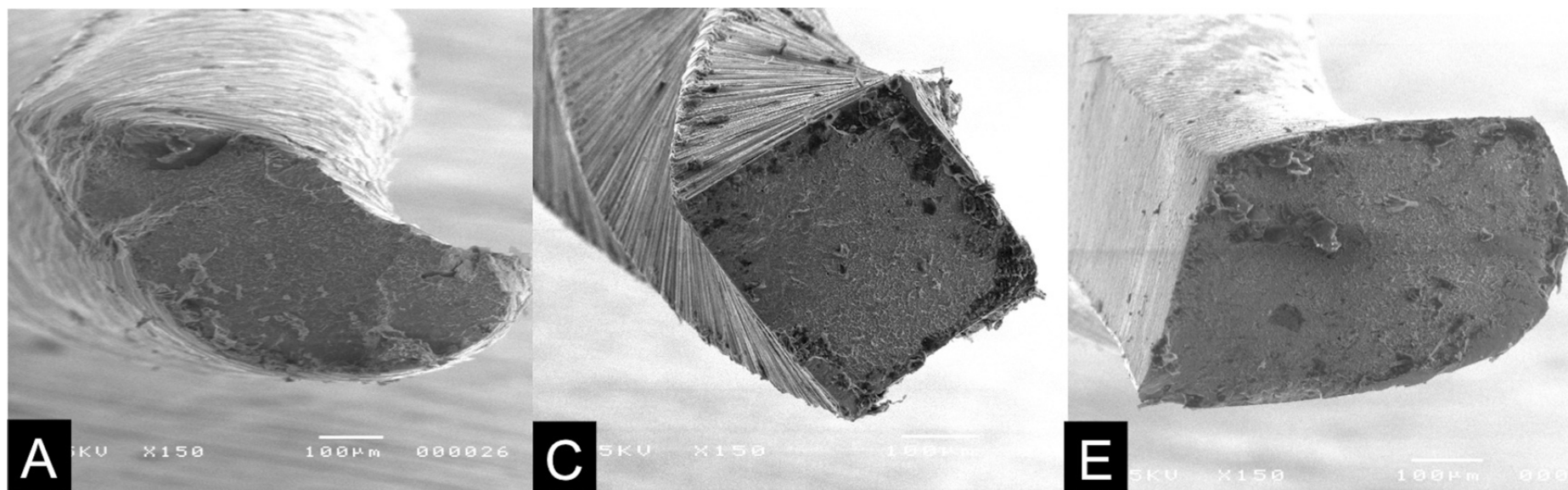


Figura 1. Imagens em microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos instrumentos após o teste de fadiga cíclica. (A) Logic 2 25.05; (B) TruNatomy 26.04; (C) Flat File 25.04.

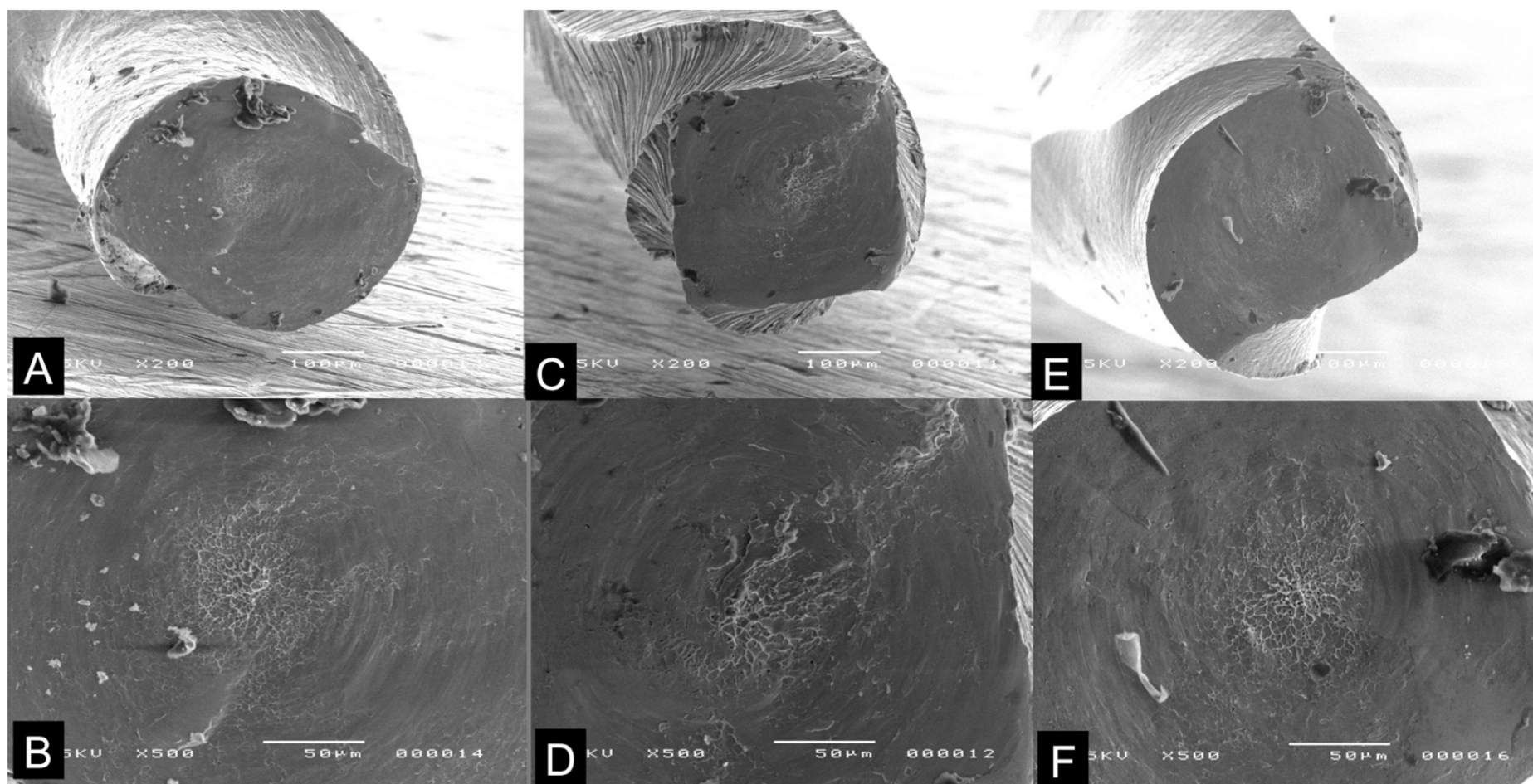


Figura 2. Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) em um aumento de 200X da superfície dos instrumentos fraturados por torção (A= Logic2 25.05; B= TruNatomy 26.04 e C=Flat File 25.04). As letras B, D e F em um aumento de 500X indicando a marca de abrasão concêntrica; as ondulações próximas ao centro de rotação são características típicas de falha de torção.

Discussão

Avaliação das propriedades mecânicas dos instrumentos rotatórios de NiTi são fundamentais para o preparo químico-mecânico dos canais radiculares, pois os instrumentos são submetidos a diferentes tipos de estresse mecânicos e, dependendo do tipo de anatomia, podem apresentar maior propensão à fratura. (Pedulla et al., 2016; Kaval et al., 2016; Zupanc et al., 2018). Por isso, ao longo dos anos, os fabricantes realizaram diversas modificações nas seções transversais, conicidades, diâmetro do núcleo, tratamento térmico e métodos de fabricação com objetivo de melhorar as propriedades mecânicas e qualidade de preparo.

De acordo com Sattapan et al. (2000), os instrumentos rotatórios podem sofrer dois tipos de fratura: por torção ou flexão (cíclica). A fratura por torção ocorre, primordialmente, em anatomias com forte atresia ou achatamentos. Nestas condições, durante o avanço do instrumento no interior do canal, sua ponta se prende total ou parcialmente nas paredes dentinárias, enquanto sua haste continua a rotação. Por outro lado, a fratura por flexão ou cíclica ocorre durante o preparo de canais curvos quando o instrumento é submetido aos ciclos repetidos de compressão e tração em seu ponto máximo de flexão. Embora estes dados sejam considerados meramente laboratoriais, há uma grande importância para o clínico, servindo como referência para qual anatomia cada instrumento pode ser empregado com segurança.

A metodologia de fadiga cíclica utilizada neste estudo foi previamente reportado por diversos estudos prévios publicados em revista de alto impacto (Alcalde et al., 2017; Alcalde et al., 2018; Klymus et al., 2018). Esta metodologia teve o objetivo gerar alto estresse flexional para simular o comportamento mecânico destes instrumentos em um canal curvo (Alcalde et al., 2017). Utilizou-se o modelo de fadiga cíclica estático, pois há menor chance de viés, tendo em vista que os movimentos axiais, empregados nos ensaios dinâmicos, não são clinicamente reproduzíveis, pois amplitude e velocidade dos movimentos são realizadas de formas diferentes pelo clínico (De-Deus et al., 2010). O ensaio de fadiga torcional tem o objetivo de gerar um alto estresse torcional, semelhante o que ocorre em canais atrésicos, possibilitando avaliar a força e a deflexão angular até a fratura, possibilitando estipular qual instrumento estaria mais susceptível a fratura diante desta condição clínica (Alcalde et al., 2017; Alcalde et al., 2018). Neste ensaio optou-se pela aferição da resistência torcional nos 3 primeiros mm da ponta dos instrumentos, pois há maior probabilidade de fratura (Alcalde et al., 2017).

Os resultados do teste de fadiga cíclica demonstraram que os instrumentos Logic 2 25.05 e Flat File 25.04 apresentaram maior tempo e NCF em comparação com os instrumentos Trunatomy 26.04 ($P < 0.05$). Não houve diferença entre Logic 2 25.05 e Flat file 25.04 ($P > 0.05$). Embora todos os instrumentos apresentem o mesmo diâmetro de ponta (#25), há diferenças com relação ao tipo de NiTi, conicidade, núcleo metálico e secções transversais, o que, provavelmente, impactaram significativamente em nossos resultados.

Estudo prévios demonstraram que o design da secção transversal, conicidade e diâmetro do núcleo estão associados a maior resistência à fadiga cíclica, pois volume de metal no ponto máximo de flexão pode influenciar na flexibilidade (Pedulla et al., 2016; Kaval et al., 2016; Alcalde et al., 2017; Alcalde et al., 2018). Para compreensão da resistência a fadiga cíclica dos instrumentos mecanizados é necessário avaliar o módulo de secção de flexão pela seguinte fórmula: $Z = I/y$, onde o I = segundo momento da área (momento de inércia); y = distância entre o eixo neutro de qualquer fibra, o impacto pode ser explicado pela distância do eixo neutro no centro do instrumento para a superfície da secção transversal e a sua geometria (Burklein et al., 2021). As secções transversais que são assimétricas variam sua resistência mecânica e dissipação de forças conforme o seu design. Em um estudo recente de Elemento Finito demonstrou que a centralidade da secção transversal, conicidade e distância entre as lâminas podem influenciar no momento de flexão e, conseqüentemente, na resistência a fadiga cíclica (Galal et al., 2020). Os resultados reportado por estes autores corroboram que o estudo de Zhang et al. (2010), o qual demonstrou que o design da secção transversal impactam de forma mais significativa a dissipação do estresse mecânico do que a conicidade. Por outro lado, Gambarini et al. (2019) demonstrou que uma secção S modificada flat, igual da flat File 25.04, apresentou melhor resistência a fadiga cíclica em comparação com um instrumento com secção em S convencional. De acordo com os autores, a redução da massa metálica e o menor atrito nas paredes do canal seria a explicação para os resultados. As variáveis entre os instrumentos empregados neste estudos são diversas (conicidade, núcleo, secção transversal e etc), tornando-o a comparação e a justificativa exata que explique os nossos resultados é algo desafiador. Sendo assim, diante do exposto no parágrafo anterior, torna-se claro que as diferenças de design entre os instrumentos impactaram de forma significativa em nossos resultados.

Há outros dois fatores importantes a considerar para os testes de resistência à

fadiga cíclica: a velocidade de rotação e diferentes tratamentos térmicos da liga de NiTi. A maior velocidade de rotação durante pode proporcionar maior estresse no ponto máximo de flexão, gerando fratura precoce (Lopes et al., 2009; Alcalde et al., 2020). Por isso, foi empregado a mesma velocidade de rotação para todos os sistemas (500 RPM), reduzindo mais uma variável que poderia influenciar em nossos resultados. Em relação ao tipo de tratamento térmico empregado na confecção dos instrumentos, é importante ressaltar que os três instrumentos apresentam diferem entre si. O instrumento Logic 2 apresenta liga com Controle de Memória (CM), Flat File tratamento térmico Gold e Trunatomy um tratamento térmico especial não especificado pelo fabricante. O tipo de tratamento térmico afeta diretamente as flexibilidade dos instrumentos de NiTi, pois proporcionam maior presença de fase R e Martensita, modificando na energia necessária para formação e/ou a propagação de trincas na lâmina dos instrumentos (Zupanc et al., 2018). Portanto, os diferentes tratamentos térmicos entre os instrumentos afetaram de forma significativa os resultados deste estudo. Portanto, a diferença do design e dos tipos de NiTi justificam as diferenças encontradas no ensaio de fadiga cíclica.

Nesse estudo, o teste de torção avaliou a carga torcional máxima e a rotação angular para fratura. O teste de torção avaliou o comportamento torcional do instrumento quando submetido a um alto nível de estresse torcional, norma ISO 3630-1 (Alcalde et al., 2018). Os resultados do ensaio torcional demonstrou que o instrumento Logic 2 25.05 apresentou maior deflexão angular em comparação com Trunatomy 26.04 e Flat File 25.04 ($P < 0.05$). Não houve diferença estatística significativa entre Flat File 25.04 e Trunatomy 26.04 ($P > 0.05$). Em relação ao torque, o instrumento Trynatomy 26.04 apresentou o menor torque para a fratura em comparação com Logic 2 25.05 e Flat File 25.04 ($P < 0.05$). Não houve diferença estatisticamente significativa entre Logic 2 e Flat File ($P > 0.05$). As diferenças existentes entre a deflexão angular e o torque máximo para a fratura estão intimamente relacionadas com a discussão relacionada a fadiga cíclica. As propriedades torcionais dos instrumentos mecanizados são dependentes de tipo de NiTi, conicidade, secção transversal e momento de inércia (Zhang et al., 2010; Burklein et al., 2021). Há uma tendência de que os instrumentos mais resistente ciclicamente, tenham maior deflexão angular e menor toque, pois são mais flexíveis (Alcalde et al., 2017). No entanto, o momento de inercia e design da secção modificam a dissipação de forças e, conseqüentemente, afetando os resultados de forma mais

significativa (Zhang et al., 2010; Galal et al., 2020; Burklein et al., 2021).

A análise em MEV mostrou características típicas da fadiga cíclica e torcional para todos os instrumentos testados: após o teste de fadiga cíclica, todos os instrumentos avaliados mostraram áreas de iniciação de trincas e zonas de sobrecarga, com inúmeras ondulações espalhadas na superfície fraturada; após o teste de torção, os fragmentos apresentaram marcas concêntricas de abrasão e ondulações no centro de rotação (Alcalde et al., 2017; Alcalde et al., 2018).

Conclusão

Dentro das limitações desse estudo, pode-se concluir que as características de design e tratamentos térmicos dos instrumentos impactaram de forma significativa os ensaios de fadiga cíclica e torcional. O instrumento Trunatomy 26.04 apresentou a menor resistência a fadiga cíclica e menor torque para a fratura. O instrumento Logic 2 25.05 apresentou maior deflexão angular.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

Referências Bibliográficas

Alcalde MP et al. Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. **Clinical Oral Investigations**, Berlim, v. 22, n. 4, p. 1865-1871, maio. 2018.

Alcalde MP et al. Cyclic and Torsional Fatigue Resistance of Reciprocating Single Files Manufactured by Different Nickel-titanium Alloys. **Journal of Endodontics**, Nova Iorque, v. 43, n. 7, p. 1186-1191, julho. 2017.

de Vasconcelos RA, Murphy S, Carvalho CA, Govindjee RG, Govindjee S, Peters OA. Evidence for Reduced Fatigue Resistance of Contemporary Rotary Instruments Exposed to Body Temperature. **Journal of Endodontics**, Nova Iorque, v. 42, n. 5, p. 782-787, maio. 2016.

De-Deus G, Moreira EJ, Lopes HP, Elias CN. Extended cyclic fatigue life of F2 ProTaper instruments used in reciprocating movement. **International Endodontic Journal**, Londres, v. 43, n. 12, p. 1063-1068, dezembro. 2010.

Dosanjh A, Paurazas S, Askar M. The Effect of Temperature on Cyclic Fatigue of Nickel-titanium Rotary Endodontic Instruments. **Journal of Endodontics**, Nova Iorque, v. 43, n. 5, p. 823-826, maio. 2017.

Jamleh A, Yahata Y, Ebihara A, Atmeh AR, Bakhsh T, Suda H. Performance of NiTi endodontic instrument under different temperatures. **International Endodontic Journal**, Londres, v. 104, n. 3, p. 324-328, setembro. 2016.

Karatas E, Arslan H, Buker M, Seckin F, Capar ID. Effect of movement kinematics on the cyclic fatigue resistance of nickel-titanium instruments. **International Endodontic Journal**, Londres, v. 49, n. 4, p. 361-436, abril. 2016

Kaval ME, Capar ID, Ertas H. Evaluation of the Cyclic Fatigue and Torsional Resistance of Novel Nickel-Titanium Rotary Files with Various Alloy Properties. **Journal of Endodontics**, Nova Iorque, v. 42, n. 12, p. 1840-1843, dezembro. 2016.

Keskin C, Inan U, Demiral M, Keles A. Cyclic Fatigue Resistance of Reciproc Blue, Reciproc, and WaveOne Gold Reciprocating Instruments. **Journal of Endodontics**, Nova Iorque, v. 43, n. 8, p. 1360-1363, agosto. 2017.

Kim HC, Kwak SW, Cheung GS, Ko DH, Chung SM, Lee W. Cyclic fatigue and torsional resistance of two new nickel-titanium instruments used in reciprocation motion: Reciproc versus WaveOne. **Journal of Endodontics**, Nova Iorque, v. 38, n. 4, p. 541-54, abril. 2012.

Klymus ME, Alcalde MP, Vivan RR, So MVR, de Vasconcelos BC, Duarte MAH. Effect of temperature on the cyclic fatigue resistance of thermally treated reciprocating instruments. **Clinical Oral Investigations**, Berlim, novembro. 2018. doi: 10.1007/s00784-018-2718-1.

Ozyurek T. Cyclic Fatigue Resistance of Reciproc, WaveOne, and WaveOne Gold Nickel-Titanium Instruments. **Journal of Endodontics**, Nova Iorque, v. 42, n. 10, p. 1536-1539, outubro. 2016.

Pedulla E, Lo Savio F, Boninelli S, Plotino G, Grande NM, La Rosa G, et al. Torsional and Cyclic Fatigue Resistance of a New Nickel-Titanium Instrument Manufactured by Electrical Discharge Machining. **Journal of Endodontics**, Nova Iorque, v. 42, n. 1, p. 156-159, janeiro. 2016.

Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, Messer HH. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. **Journal of Endodontics**, Nova Iorque, v. 26, n. 3, p. 161-165, março. 2000.

Shen Y, Zhou HM, Zheng YF, Peng B, Haapasalo M. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. **Journal of Endodontics**, Nova Iorque, v. 39, n. 2, p. 163-172, fevereiro. 2013.

Silva E, Vieira VTL, Hecksher F, Dos Santos Oliveira MRS, Dos Santos Antunes H, Moreira E JL. Cyclic fatigue using severely curved canals and torsional resistance of thermally treated reciprocating instruments. **Clinical Oral Investigations**, Berlim, v. 22, n. 7, p. 2633-2638, setembro. 2018.

Zupanc J, Vahdat-Pajouh N, Schafer E. New thermomechanically treated NiTi alloys - a review. **International Endodontic Journal**, Londres, v. 51, n. 10, p. 1088-1103, outubro, 2019.

3 DISCUSSÃO

3 DISCUSSÃO

A introdução dos instrumentos mecanizados confeccionados na liga de NiTi promoveu uma revolução no conceito de preparo do canal radicular, favorecendo segurança e mais eficiência durante a instrumentação de canais curvos e atrésicos (PETERS, 2001; HAAPSALO; SHEN, 2013). No entanto, a fratura inesperada do instrumento pode ocorrer devido ao estresse de flexão e torção (SATTAPAN et al., 2000). Se a fratura do instrumento ocorre e o fragmento não pode ser removido ou ignorado, o canal radicular, em algumas vezes, não pode ser completamente limpo, o que pode comprometer o sucesso do tratamento endodôntico (Capar et al., 2015a). Portanto, é importante conhecer as propriedades mecânicas dos instrumentos de NiTi para uso clínico adequado e seguro.

Estudos prévios relataram que a resistência a fadiga cíclica e torsional dos instrumentos de NiTi são afetados pelo diâmetro do instrumento, conicidade, pelo desenho da secção transversal, pelo diâmetro do núcleo e pelo tratamento térmico aplicado a liga de NiTi (TURPIN; CHAGNEAU; VULCAIN, 2000; PEREIRA et al., 2012; LOPES et al., 2013; KAVAL et al., 2016; KAVAL et al., 2017; PEDULLA et al., 2016). Além disso, o movimento recíprocante mostrou-se seguro e eficaz na instrumentação de canais curvos, reduzindo a fadiga cíclica e torsional em comparação com o movimento rotatório (VALERA-PATIÑO et al., 2010; DE-DEUS et al., 2010; KIM et al., 2012; GAVINI et al., 2012; KARATAS et al., 2016; DE-DEUS et al., 2017).

Avaliação das propriedades mecânicas dos instrumentos rotatórios de NiTi são fundamentais para o preparo químico-mecânico dos canais radiculares, pois os instrumentos são submetidos a diferentes tipos de estresse mecânicos e, dependendo do tipo de anatomia, podem apresentar maior propensão à fratura. (Pedulla et al., 2016; kaval et al., 2016; Zupanc et al., 2018). Por isso, ao longo dos anos, os fabricantes realizaram diversas modificações nas secções transversais, conicidades, diâmetro do núcleo, tratamento térmico e métodos de fabricação com objetivo de melhorar as propriedades mecânicas e qualidade de preparo.

De acordo com Sattapan et al. (2000), os instrumentos rotatórios podem sofrer dois tipos de fratura: por torção ou flexão (cíclica). A fratura por torção ocorre,

primordialmente, em anatomias com forte atresia ou achatamentos. Nestas condições, durante o avanço do instrumento no interior do canal, sua ponta se prende total ou parcialmente nas paredes dentinárias, enquanto sua haste continua a rotação. Por outro lado, a fratura por flexão ou cíclica ocorre durante o preparo de canais curvos quando o instrumento é submetido ao ciclos repetidos de compressão e tração em seu ponto máximo de flexão. Embora estes dados sejam considerados meramente laboratoriais, há uma grande importância para o clínico, servindo como referência para qual anatomia cada instrumento pode ser empregado com segurança.

A metodologia de fadiga cíclica utilizada neste estudo foi previamente reportado por diversos estudos prévios publicados em revista de alto impacto (Alcalde et al., 2017; Alcalde et al., 2018; Klymus et al., 2018). Esta metodologia teve o objetivo gerar alto estresse flexional para simular o comportamento mecânico destes instrumentos em um canal curvo (Alcalde et al., 2017). Utilizou-se o modelo de fadiga cíclica estático, pois há menor chance de viés, tendo em vista que os movimentos axiais, empregados nos ensaios dinâmicos, não são clinicamente reproduzíveis, pois amplitude e velocidade dos movimentos são realizadas de formas diferentes pelo clínico (De-Deus et al., 2010). O ensaio de fadiga torcional tem o objetivo de gerar um alto estresse torcional, semelhante o que ocorre em canais atrésicos, possibilitando avaliar a força e a deflexão angular até a fratura, possibilitando estipular qual instrumento estaria mais susceptível a fratura diante desta condição clínica (Alcalde et al., 2017; Alcalde et al., 2018). Neste ensaio optou-se pela aferição da resistência torcional nos 3 primeiros mm da ponta dos instrumentos, pois há maior probabilidade de fratura (Alcalde et al., 2017).

Os resultados do teste de fadiga cíclica demonstraram que os instrumentos Logic 2 25.05 e Flat File 25.04 apresentaram maior tempo e NCF em comparação com os instrumentos Trunatomy 26.04 ($P < 0.05$). Não houve diferença entre Logic 2 25.05 e Flat file 25.04 ($P > 0.05$). Embora todos os instrumentos apresentem o mesmo diâmetro de ponta (#25), há diferenças com relação ao tipo de NiTi, conicidade, núcleo metálico e secções transversais, o que, provavelmente, impactaram significativamente em nossos resultados.

Estudo prévios demonstraram que o design da secção transversal, conicidade e diâmetro do núcleo estão associados a maior resistência à fadiga cíclica, pois

volume de metal no ponto máximo de flexão pode influenciar na flexibilidade (Pedulla et al., 2016; Kaval et al., 2016; Alcalde et al., 2017; Alcalde et al., 2018). Para compreensão da resistência a fadiga cíclica dos instrumentos mecanizados é necessário avaliar o módulo de secção de flexão pela seguinte fórmula: $Z = I/y$, onde o I =segundo momento da área (momento de inércia); y = distância entre o eixo neutro de qualquer fibra, o impacto pode ser explicado pela distância do eixo neutro no centro do instrumento para a superfície da secção transversal e a sua geometria (Burklein et al., 2021). As secções transversais que são assimétricas variam sua resistência mecânica e dissipação de forças conforme o seu design. Em um estudo recente de Elemento Finito demonstrou que a centralidade da secção transversal, conicidade e distância entre as lâminas podem influenciar no momento de flexão e, conseqüentemente, na resistência a fadiga cíclica (Galal et al., 2020). Os resultados reportados por estes autores corroboram que o estudo de Zhang et al. (2010), o qual demonstrou que o design da secção transversal impacta de forma mais significativa a dissipação do estresse mecânico do que a conicidade. Por outro lado, Gambarini et al. (2019) demonstrou que uma secção S modificada flat, igual da flat File 25.04, apresentou melhor resistência a fadiga cíclica em comparação com um instrumento com secção em S convencional. De acordo com os autores, a redução da massa metálica e o menor atrito nas paredes do canal seria a explicação para os resultados. As variáveis entre os instrumentos empregados neste estudo são diversas (conicidade, núcleo, secção transversal e etc), tornando-o a comparação e a justificativa exata que explique os nossos resultados é algo desafiador. Sendo assim, diante do exposto no parágrafo anterior, torna-se claro que as diferenças de design entre os instrumentos impactaram de forma significativa em nossos resultados.

Há outros dois fatores importantes a considerar para os testes de resistência à fadiga cíclica: a velocidade de rotação e diferentes tratamentos térmicos da liga de NiTi. A maior velocidade de rotação durante pode proporcionar maior estresse no ponto máximo de flexão, gerando fratura precoce (Lopes et al., 2009; Alcalde et al., 2020). Por isso, foi empregado a mesma velocidade de rotação para todos os sistemas (500 RPM), reduzindo mais uma variável que poderia influenciar em nossos resultados. Em relação ao tipo de tratamento térmico empregado na confecção dos instrumentos, é importante ressaltar que os três instrumentos apresentam diferem entre si. O instrumento Logic 2 apresenta liga com Controle de Memória (CM), Flat

File tratamento térmico Gold e Trunatomy um tratamento térmico especial não especificado pelo fabricante. O tipo de tratamento térmico afeta diretamente as flexibilidades dos instrumentos de NiTi, pois proporcionam maior presença de fase R e Martensita, modificando na energia necessária para formação e/ou a propagação de trincas na lâmina dos instrumentos (Zupanc et al., 2018). Portanto, os diferentes tratamentos térmicos entre os instrumentos afetaram de forma significativa os resultados deste estudo. Portanto, a diferença do design e dos tipos de NiTi justificam as diferenças encontradas no ensaio de fadiga cíclica.

Nesse estudo, o teste de torção avaliou a carga torcional máxima e a rotação angular para fratura. O teste de torção avaliou o comportamento torcional do instrumento quando submetido a um alto nível de estresse torcional, norma ISO 3630-1 (Alcalde et al., 2018). Os resultados do ensaio torcional demonstrou que o instrumento Logic 2 25.05 apresentou maior deflexão angular em comparação com Trunatomy 26.04 e Flat File 25.04 ($P < 0.05$). Não houve diferença estatística significativa entre Flat File 25.04 e Trunatomy 26.04 ($P > 0.05$). Em relação ao torque, o instrumento Trynatomy 26.04 apresentou o menor torque para a fratura em comparação com Logic 2 25.05 e Flat File 25.04 ($P < 0.05$). Não houve diferença estatisticamente significativa entre Logic 2 e Flat File ($P > 0.05$). As diferenças existentes entre a deflexão angular e o torque máximo para a fratura estão intimamente relacionadas com a discussão relacionada a fadiga cíclica. As propriedades torcionais dos instrumentos mecanizados são dependentes de tipo de NiTi, conicidade, secção transversal e momento de inércia (Zhang et al., 2010; Burklein et al., 2021). Há uma tendência de que os instrumentos mais resistente ciclicamente, tenham maior deflexão angular e menor toque, pois são mais flexíveis (Alcalde et al., 2017). No entanto, o momento de inercia e design da secção modificam a dissipação de forças e, conseqüentemente, afetando os resultados de forma mais significativa (Zhang et al., 2010; Galal et al., 2020; Burklein et al., 2021).

A análise em MEV mostrou características típicas da fadiga cíclica e torcional para todos os instrumentos testados: após o teste de fadiga cíclica, todos os instrumentos avaliados mostraram áreas de iniciação de trincas e zonas de sobrecarga, com inúmeras ondulações espalhadas na superfície fraturada; após o teste de torção, os fragmentos apresentaram marcas concêntricas de abrasão e ondulações no centro de rotação (Alcalde et al., 2017; Alcalde et al., 2018).

Apesar dos estudos terem avaliados a resistência à fadiga cíclica e torcional em testes separados, é sabido que, durante a o preparo do canal radicular, as fraturas dos instrumentos podem ocorrer devido a uma associação das fadigas (SATTAPAN et al., 2000; PEDULLA et al., 2016). Portanto, em estudos futuros, seria importante desenvolver novas metodologias tentando reproduzir o comportamento mecânico real dos instrumentos NiTi durante a preparação do canal radicular. Os resultados deste estudo mostraram que a resistência à fadiga cíclica e torsional dos instrumentos de NiTi mecanizados são afetados pela secção transversal, diâmetro da ponta, conicidade e tratamento térmico. No entanto, a tecnologia de memória controlada parece ser um fator chave para fornecer maior flexibilidade para os instrumentos NiTi.

4 CONCLUSÃO

4 CONCLUSÃO

Dentro das limitações desse estudo, pode-se concluir que as características de design e tratamentos térmicos dos instrumentos impactaram de forma significativa os ensaios de fadiga cíclica e torcional. O instrumento Trunatomy 26.04 apresentou a menor resistência a fadiga cíclica e menor torque para a fratura. O instrumento Logic 2 25.05 apresentou maior deflexão angular.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

Acosta EC, Resende PD, Peixoto IF et al. (2017) Influence of cyclic flexural deformation on the torsional resistance of controlled memory and conventional nickel-titanium instruments. **Journal of Endodontics** 43, 613–8.

Alcalde MP et al. Cyclic and Torsional Fatigue Resistance of Reciprocating Single Files Manufactured by Different Nickel-titanium Alloys. **Journal of Endodontics**, Nova Iorque, v. 43, n. 7, p. 1186-1191, julho. 2017.

Alcalde MP et al. Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. **Clinical Oral Investigations**, Berlim, v. 22,n. 4, p. 1865-1871, maio. 2018.

Alcalde MP, Duarte MAH, Bramante CM, de Vasconcelos BC, Tanomaru-Filho M, Guerreiro-Tanomaru JM, Pinto JC, Só MVR, Vivan RR. Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. **Clinical Oral Investigation**. 2017 Dec 9. doi: 10.1007/s00784-017-2295-8. [Epub ahead of print] Erratum in: Clin Oral Investig. 2017 Dec 26;:. PubMed PMID: 29224061.

Alcalde, MP; Furlan, RD; Vivan, RR; Duarte, MAH. Influence of the rotational speed on the cyclic fatigue resistance of the Logic rotary system. **Dental Press Endodontics**, Maringá. 2020 Jan-Apr; 10(1):49-53.

Arias A, Singh R, Peters OA (2016) Differences in torsional performance of single-and multiple-instrument rotary systems for glide path preparation. **Odontology** 104, 192–8.

Arias A, Singh R, Peters OA. Torque and force induced by ProTaper universal and ProTaper next during shaping of large and small root canals in extracted teeth. **Journal of Endodontics**. 2014;40:973-6.

Baek SH, Lee CJ, Versluis A, et al. Comparison of torsional stiffness of nickel-titanium rotary files with different geometric characteristics. **Journal of Endodontics**. 2011;37:1283–6.

Bahia MG, Melo MC, Buono VT. Influence of simulated clinical use on the torsional behavior of nickel-titanium rotary endodontic instruments. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology Endodontics**. 2006;101:675–80.

Berutti E, Cantatore G, Castellucci A et al. (2009) Use of nickel-titanium Rotary

PathFile to create the glide path: comparison with manual preflaring in simulated root canals. **Journal of Endodontics** 35, 408–12.

Bramante CM, Berbert A, Borges RP. A methodology for evaluation of root canal instrumentation. **Journal of Endodontics**. 1987;13:243-5.

Brunson M, Heilborn C, Johnson DJ, Cohenca N. Effect of apical preparation size and preparation taper on irrigant volume delivered by using negative pressure irrigation system. **Journal of Endodontics**. 2010;36:721-4.

Bürklein S, Schäfer E. Apically extruded debris with reciprocating single-file and full-sequence rotary instrumentation systems. **Journal of Endodontics**. 2012;38(6):850-2.

Bürklein S, Zupanc L, Donnermeyer D, Tegtmeyer K, Schäfer E. Effect of Core Mass and Alloy on Cyclic Fatigue Resistance of Different Nickel-Titanium Endodontic Instruments in Matching Artificial Canals. **Materials (Basel)**. 2021 Oct 1;14(19):5734. doi: 10.3390/ma14195734. PMID: 34640131; PMCID: PMC8510035.

Burroughs JR, Bergeron BE, Roberts MD, Hagan JL, Himel VT. Shaping ability of three nickel-titanium endodontic file systems in simulated S-shaped root canals. **Journal of Endodontics**. 2012;38:1618-21.

Çapar ID, Arslan H. A review of instrumentation kinematics of engine-driven nickel-titanium instruments. **International Endodontic Journal**. 2016;49:119-35.

Çapar ID, Ertas H, Ok E, et al. Comparative study of different novel nickel-titanium rotary systems for root canal preparation in severely curved root canals. **Journal of Endodontics**. 2014;40:852–6.

Çapar ID, Kaval ME, Ertas H et al (2015) Comparison of the cyclic fatigue resistance of 5 different rotary pathfinding instruments made of conventional nickel-titanium wire, M-wire and controlled memory wire. **Journal of Endodontics**. 241:535-538. doi: 10.1016/j.joen.2014.11.008.

Çapar İD, Uysal B, Ok E, Arslan H. Effect of the size of the apical enlargement with rotary instruments, single-cone filling, post space preparation with drills, fiber post removal, and root canal filling removal on apical crack initiation and propagation. **Journal of Endodontics**. 2015;41(2):253-6.

Ceyhanli KT, Erdilek N, Tatar I, Cetintav B. Comparative micro-computed tomography evaluation of apical root canal transportation with the use of ProTaper, RaCe and Safesider systems in human teeth. **Australian Endodontics Journal**. 2014;40:12-6.

Cunningham WT, Balekjian AY. Effect of temperature on collagen-dissolving ability of sodium hypochlorite endodontic irrigant. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology Endodontics**. 1980; 49:175–7.

D'Amario M, Baldi M, Petricca R (2013) Evaluation of a new nickel-titanium system to create the glide path in root canal preparation of curved canals. **Journal of Endodontics** 39, 1581–4.

da Frota MF, Espir CG, Berbert FL, et al. Comparison of cyclic fatigue and torsional resistance in reciprocating single-file systems and continuous rotary instrumentation systems. **Journal Oral Scientist**. 2014;56:269–75.

de Almeida-Gomes F, de Matos HR, Nunes RF, et al. Cyclic fatigue resistance of different continuous rotation and reciprocating endodontic systems. **Indian Journal Dental Research** 2016;27:278–82.

de Hemptinne F, Slaus G, Vandendael M, et al. In vivo intracanal temperature evolution during endodontic treatment after the injection of room temperature or preheated sodium hypochlorite. **Journal of Endodontics**. 2015;41:1112–5.

de Oliveira Alves V, Bueno CE, Cunha RS et al. (2012) Comparison amongst manual instruments and PathFile and Mtwo rotary instruments to create a glide path in the root canal preparation of curved canals. **Journal of Endodontics**. 38, 117–20.

de Vasconcelos RA, Murphy S, Carvalho CA, Govindjee RG, Govindjee S, Peters OA. Evidence for Reduced Fatigue Resistance of Contemporary Rotary Instruments Exposed to Body Temperature. **Journal of Endodontics**, Nova Iorque, v. 42, n. 5, p. 782-787, maio. 2016.

De-Deus G, Belladonna FG, Souza EM et al. (2016) Scouting ability of 4 pathfinding instruments in moderately curved molar canals. **Journal of Endodontics** 42, 1540–4.

De-Deus G, Moreira EJ, Lopes HP, Elias CN. Extended cyclic fatigue life of F2 ProTaper instruments used in reciprocating movement. **International Endodontic Journal**, Londres, v. 43, n. 12, p. 1063-1068, dezembro. 2010.

De-Deus G, Neves A, Silva EJ, Mendonça TA, Lourenço C, Calixto C, et al. Apically extruded dentin debris by reciprocating single-file and multi-file rotary system. **Clinical Oral Investigation**. 2015;19(2):357-61

De-Deus G, Silva EJ, Vieira VT et al (2017) Blue Thermomechanical Treatment Optimizes Fatigue Resistance and Flexibility of the Reciproc Files. **Journal of Endodontics**. 43:462-466. doi: 10.1016/j.joen.2016.10.039.

De-Deus G, Vieira VT, Silva EJ, et al. Bending resistance and dynamic and static cyclic fatigue life of Reciproc and WaveOne large instruments. **Journal of Endodontics**. 2014;40:575–9.

Dosanjh A, Paurazas S, Askar M. The Effect of Temperature on Cyclic Fatigue of Nickel-titanium Rotary Endodontic Instruments. **Journal of Endodontics**. 2017 May;43(5):823-826. doi: 10.1016/j.joen.2016.12.026. PubMed PMID: 28442122.

Dosanjh A, Paurazas S, Askar M. The Effect of Temperature on Cyclic Fatigue of Nickel-titanium Rotary Endodontic Instruments. **Journal of Endodontics**, Nova lorque, v. 43, n. 5, p. 823-826, maio. 2017.

Drexel M, Selvaduray G, Pelton A. The Effects of Cold Work and Heat Treatment on the Properties of Nitinol Wire. In: Medical Device Materials IV: Proceedings from the Materials and Processes for Medical Devices Conference. Materials Park, OH: **ASM International**; 2007:114–9.

Duque JA, Vivan RR, Cavenago BC, Amoroso-Silva PA, Bernardes RA, Vasconcelos BC, et al. Influence of NiTi alloy on the root canal shaping capabilities of the ProTaper Universal and ProTaper Gold rotary instrument systems. **Journal Applied Oral Science**. 2017;25(1):27-33.

El-Anwar MI, Yousief SA, Katia EM et al. (2016) Finite element study on continuous rotating versus reciprocating Nickel-Titanium instruments. **Brazilian Dental Journal**. 27, 436–41.

ElAyouti A, Kiefner P, Hecker H, Chu A, Löst C, Weiger R. Homogeneity and adaptation of endodontic fillings in root canals with enlarged apical preparation. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology Endodontics**. 2009;108:e141-6.

Elnaghy AM, Elsaka SE (2014) Evaluation of root canal transportation, centering ratio, and remaining dentin thickness associated with ProTaper Next instruments with and without glide path. **Journal of Endodontics** 40, 2053–6.

Elnaghy AM, Elsaka SE (2015) Evaluation of the mechanical behaviour of PathFile and ProGlider pathfinding nickel titanium rotary instruments. **International Endodontic Journal**. 48, 894–901.

Elnaghy AM, Elsaka SE, Elshazli AH. Dynamic cyclic and torsional fatigue resistance of TruNatomy compared with different nickel-titanium rotary instruments. **Australian Endodontics Journal**. 2020 Aug;46(2):226-233. doi: 10.1111/aej.12396. Epub 2020 Feb 5. PMID: 32022376.

Elnaghy AM, Elsaka SE. Torsion and bending properties of OneShape and WaveOne instruments. **Journal of Endodontics**. 2015;41:544–7.

Elnaghy AM. Cyclic fatigue resistance of ProTaper Next nickel-titanium rotary files. **International Endodontic Journal**. 2014;47:1034-9.

Gagliardi J, Versiani MA, Sousa-Neto MD, Plazas-Garzon A, Basrani B. Evaluation of the shaping characteristics of ProTaper Gold, ProTaper NEXT, and ProTaper Universal in curved canals. **Journal of Endodontics**. 2015;41:1718-24.

Galal M., Hamdy T.M. Evaluation of stress distribution in nickel-titanium rotary instruments with different geometrical designs subjected to bending and torsional load: A finite element study. **Bull. Natl. Res. Cent.** 2020;44:1–11. doi: 10.1186/s42269-020-00377-x.

Gambarini G, Grande NM, Plotino G, Somma F, Garala M, De Luca M, Testarelli L (2008) Fatigue resistance of engine-driven rotary nickel-titanium instruments produced by new manufacturing methods. **Journal of Endodontics**. 34:1003–1005.

Gambarini G, Miccoli G, Seracchiani M, Khrenova T, Donfrancesco O, D'Angelo M, Galli M, Di Nardo D, Testarelli L. Role of the Flat-Designed Surface in Improving the Cyclic Fatigue Resistance of Endodontic NiTi Rotary Instruments. **Materials (Basel)**. 2019 Aug 8;12(16):2523. doi: 10.3390/ma12162523. PMID: 31398814; PMCID: PMC6720207.

Gambarini G, Plotino G, Sannino G et al. (2015) Cyclic fatigue of instruments for endodontic glide path. **Odontology** 103, 56–60.

Gambarini G, Testarelli L, De Luca M, Milana V, Plotino G, Grande MN, et al. The influence of three different instrumentation techniques on the incidence of postoperative pain after endodontic treatment. **Ann Stomatol (Roma)**. 2013;4(1):152-5.

Gao Y, Gutmann JL, Wilkinson K, et al (2012) Evaluation of the impact of raw materials on the fatigue and mechanical properties of ProFile Vortex rotary instruments. **Journal of Endodontics**. 38: 398-401. doi: 10.1016/j.joen.2011.11.004

Gavini G, Caldeira CL, Akisue E, et al. Resistance to flexural fatigue of Reciproc R25 files under continuous rotation and reciprocating movement. **Journal of Endodontics**. 2012;38: 684–7.

Gergi R, Osta N, Bourbouze G, Zgheib C, Arbab-Chirani R, Naaman A. Effects of three nickel titanium instrument systems on root canal geometry assessed by micro-computed tomography. **International Endodontic Journal**. 2015;48:162-70.

González-Sánchez JA, Duran-Sindreu F, de Noé S, Mercandé M, Roig M. Centring ability and apical transportation after overinstrumentation with ProTaper Universal and ProFile Vortex instruments. **International Endodontic Journal**. 2012;45(6):542-51.

Grande NM, Plotino G, Pecci R, et al. Cyclic fatigue resistance and three-dimensional analysis of instruments from two nickel-titanium rotary systems. **International Endodontic Journal**. 2006; 39:755–63.

Gündoğar M, Özyürek T. Cyclic Fatigue Resistance of OneShape, HyFlex EDM, WaveOne Gold, and Reciproc Blue Nickel-titanium Instruments. **Journal of Endodontics**. 2017 Jul;43(7):1192-1196. doi: 10.1016/j.joen.2017.03.009. Epub 2017 May 17. PubMed PMID: 28527845.

Hieawy A, Haapasalo M, Zhou H, Wang ZJ, Shen Y (2015) Phase transformation behavior and resistance to bending and cyclic fatigue of ProTaper Gold and ProTaper Universal instruments. **Journal of Endodontics**. 41:1134–1138

Holland R, Mazuqueli L, Sousa V, Murata SS, Dezan Júnior E, Suzuki P. Influence of the type of vehicle and limit of obturation on apical and periapical tissue response in dogs' teeth after root canal filling with mineral trioxide aggregate. **Journal of Endodontics**. 2007;33(6):693-7.

Hülsmann M, Peters OA, Dummer PM. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. **Endodontics Topics**. 2005;10:30-76.

Jamleh A, Yahata Y, Ebihara A, Atmeh AR, Bakhsh T, Suda H. Performance of NiTi endodontic instrument under different temperatures. **International Endodontic Journal**, Londres, v. 104, n. 3, p. 324-328, setembro. 2016.

Karatas E, Arslan H, Buker M, Seckin F, Capar ID. Effect of movement kinematics on the cyclic fatigue resistance of nickel-titanium instruments. **International Endodontic Journal**, Londres, v. 49, n. 4, p. 361-436, abril. 2016.

Kaval ME, Capar ID, Ertas H, Sen BH. Comparative evaluation of cyclic fatigue resistance of four different nickel-titanium rotary files with different cross sectional designs and alloy properties. **Clinical Oral Investigations**. 2017;21:1527–30.

Kaval ME, Capar ID, Ertas H. Evaluation of the Cyclic Fatigue and Torsional Resistance of Novel Nickel-Titanium Rotary Files with Various Alloy Properties. **Journal of Endodontics**, Nova lorque, v. 42, n. 12, p. 1840-1843, dezembro. 2016.

Keskin C, Inan U, Demiral M, Keles A. Cyclic Fatigue Resistance of Reciproc Blue, Reciproc, and WaveOne Gold Reciprocating Instruments. **Journal of Endodontics**, Nova lorque, v. 43, n. 8, p. 1360-1363, agosto. 2017.

Kim HC, Kwak SW, Cheung GS, Ko DH, Chung SM, Lee W. Cyclic fatigue and torsional resistance of two new nickel-titanium instruments used in reciprocation motion: Reciproc versus WaveOne. **Journal of Endodontics**, Nova lorque, v. 38, n. 4, p. 541-54, abril. 2012.

Klymus ME, Alcalde MP, Vivian RR, So MVR, de Vasconcelos BC, Duarte MAH. Effect of temperature on the cyclic fatigue resistance of thermally treated reciprocating instruments. **Clinical Oral Investigations**, Berlim, novembro. 2018. doi: 10.1007/s00784-018-2718-1.

Kuhn G, Jordan L. Fatigue and mechanical properties of nickel-titanium endodontic instruments. **Journal of Endodontics**. 2002;28:716–20.

Kwak SW, Ha JH, Lee CJ et al. (2016) Effects of pitch length and heat treatment on the mechanical properties of the glide path preparation instruments. **Journal of Endodontics** 42, 788–92.

Lim SS, Stock CJR. The risk of perforation in the curved canal: anticurvature filing compared with the stepback technique. **International Endodontic Journal**. 1987;20(1):33-9.

Lopes HP, Ferreira AA, Elias CN, Moreira EJ, de Oliveira JC, Siqueira JF Jr. Influence of rotational speed on the cyclic fatigue of rotary nickel-titanium endodontic instruments. **Journal of Endodontics**. 2009 Jul;35(7):1013-6. doi: 10.1016/j.joen.2009.04.003. PMID: 19567325.

Lopes HP, Gambarra-Soares T, Elias CN, et al. Comparison of the mechanical properties of rotary instruments made of conventional nickel-titanium wire, M-wire, or nickel-titanium alloy in R-phase. **Journal of Endodontics**. 2013;39:516–20.

Magalhães RR, Braga LC, Pereira ES et al. (2016) The impact of clinical use on the torsional behavior of Reciproc and WaveOne instruments. **Journal Applied Oral of Science** 24, 310–6.

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

Marroquín BB, El-Sayed MA, Willershausen-Zönnchen B. Morphology of the physiological foramen: I. Maxillary and mandibular molars. **Journal of Endodontics**. 2004;30(5):321-8.

Nevarés Gisele, Xavier Felipe, Gominho Luciana, et al. Apical Extrusion of Debris Produced during Continuous Rotating and Reciprocating Motion. **Scientific World Journal** 2015;2015.

Ninan E, Berzins DW. Torsion and bending properties of shape memory and superelastic nickel-titanium rotary instruments. **Journal of Endodontics** 2013;39:101–4.

Ozyurek T. Cyclic Fatigue Resistance of Reciproc, WaveOne, and WaveOne Gold Nickel-Titanium Instruments. **Journal of Endodontics**, Nova Iorque, v. 42, n. 10, p. 1536-1539, outubro. 2016.

Paqué F, Peters OA. Micro-computed tomography evaluation of the preparation of long oval root canals in mandibular molars with the self-adjusting file. **Journal of Endodontics**. 2011;37:517-21.

Pasqualini D, Bianchi CC, Paolino DS et al. (2012) Computed micro-tomographic evaluation of glide path with nickel titanium rotary PathFile in maxillary first molars curved canals. **Journal of Endodontics** 38, 389–93.

Patino PV, Biedma BM, Liebana CR et al. (2005) The influence of a manual glide path on the separation rate of NiTi rotary instruments. **Journal of Endodontics** 31, 114–6.

Pedulla E, Lo Savio F, Boninelli S et al. (2016) Torsional and cyclic fatigue resistance of a new nickel-titanium instrument manufactured by electrical discharge machining. **Journal of Endodontics** 42, 156–9.

Pedulla E, Lo Savio F, Boninelli S, et al. Influence of cyclic torsional preloading on cyclic fatigue resistance of nickel - titanium instruments. **International Endodontic Journal**. 2015;48: 1043–50.

Pedulla E, Lo Savio F, Boninelli S, Plotino G, Grande NM, La Rosa G, et al. Torsional and Cyclic Fatigue Resistance of a New Nickel-Titanium Instrument Manufactured by Electrical Discharge Machining. **Journal of Endodontics**, Nova Iorque, v. 42, n. 1, p. 156-159, janeiro. 2016.

Pereira ES, Peixoto IF, Viana AC, et al. Physical and mechanical properties of a thermomechanically treated NiTi wire used in the manufacture of rotary endodontic instruments. **International Endodontic Journal**. 2012;45:469-74.

Pereira ES, Viana AC, Buono VT, Peters OA, Bahia MG. Behavior of nickel-titanium instruments manufactured with different thermal treatments. **Journal of Endodontics**. 2015;41(1):67-71.

Peters OA, Arias A, Choi A. Mechanical Properties of a Novel Nickel-titanium Root Canal Instrument: Stationary and Dynamic Tests. **Journal of Endodontics**. 2020 Jul;46(7):994-1001. doi: 10.1016/j.joen.2020.03.016. Epub 2020 May 7. PMID: 32389382.

Peters OA, Gluskin AK, Weiss RA, et al. An in vitro assessment of the physical properties of novel Hyflex nickel-titanium rotary instruments. **International Endodontic Journal**. 2012;45: 1027–34.

Peters OA, Peters CI, Schönenberger K, Barbakow F. ProTaper rotary root canal preparation: effects of canal anatomy on final shape analysed by micro CT. **International Endodontic Journal**. 2003;36:86-92.

Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. **Journal of Endodontics** 2004;30:559–67.

Plotino G, Grande NM, Cordaro M, et al. A review of cyclic fatigue testing of nickel titanium rotary instruments. **Journal of Endodontics**. 2009;35:1469–76.

Plotino G, Grande NM, Cotti E, Testarelli L, Gambarini G. Blue treatment enhances cyclic fatigue resistance of vortex nickel-titanium rotary files. **Journal of Endodontics**. 2014;40(9):1451-3.

Rodrigues RC, Zandi H, Kristoffersen AK, Enersen M, Mdala I, Ørstavik D, et al. Influence of the apical preparation size and the irrigant type on bacterial reduction in root canal-treated teeth with apical periodontitis. **Journal of Endodontics**. 2017;43(7):1058-63.

Ruddle CJ, Machtou P, West D (2014) Endodontic canal preparation: new innovations in glide path management and shaping canals. **Dentistry Today** 33, 1–7.

Sant'Anna Júnior A, Cavenago BC, Ordinola-Zapata R, De-Deus G, Bramante CM, Duarte MA. The effect of larger apical preparations in the danger zone of lower molars prepared using the Mtwo and Reciproc systems. **Journal of Endodontics**. 2014;40:1855-9.

Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, Messer HH. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. **Journal of Endodontics**, Nova Iorque, v. 26, n. 3, p. 161-165, março. 2000.

Schneider, SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology Endodontics**. 1971;32(2):271-5.

Shen Y, Zhou HM, Zheng YF, Peng B, Haapasalo M. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. **Journal of Endodontics**, Nova Iorque, v. 39, n. 2, p. 163-172, fevereiro. 2013.

Silva E, Vieira VTL, Hecksher F, Dos Santos Oliveira MRS, Dos Santos Antunes H, Moreira E JL. Cyclic fatigue using severely curved canals and torsional resistance of thermally treated reciprocating instruments. **Clinical Oral Investigations**, Berlim, v. 22, n. 7, p. 2633-2638, setembro. 2018.

Silva EJ, Rodrigues C, Vieira VT, Belladonna FG, De-Deus G, Lopes HP. Bending resistance and cyclic fatigue of a new heat-treated reciprocating instrument. **Scanning**. 2016b;38(6):837-41.

Silva EJ, Teixeira JM, Kudsi N, Sassone LM, Krebs RL, Coutinho-Filho TS. Influence of apical preparation size and working length in debris extrusion. **Brazilian Dental Journal**. 2016;27(1):28-31.

Silva EJ, Villarino LS, Vieira VT, et al. Bending resistance and cyclic fatigue life of Reciproc, Unicone, and WaveOne reciprocating instruments. **Journal of Endodontics**. 2016;42: 1789–93.

Silva PB, Krolow AM, Pilownic AJ, Cassarin RP, Lima RK, Leonardo RT, et al. Apical extrusion of debris and irrigants using different irrigation needles. **Brazilian Dental Journal**. 2016;27(2):192-5.

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

Teixeira JM, Cunha FM, Jesus RO, Silva EJ, Fidel SR, Sassone LM. Influence of working length and apical preparation size on apical bacterial extrusion during reciprocating instrumentation. **International Endodontic Journal**. 2015;48:648-653.

Testarelli L, Plotino G, Al-Sudani D, Vincenzi V, Giansiracusa A, Grande NM, et al. Bending properties of a new nickel-titanium alloy with a lower percent by weight of nickel. **Journal of Endodontics**. 2011;37:1293-5.

Thompson Matthew, Sidow Stephanie J, Lindsey Kimberly, Chuang Augustine, McPherson James C. Evaluation of a new filing system's ability to maintain canal morphology. **Journal of Endodontics**. 2014;40(6):867-70.

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. **International Endodontic Journal**. 2014;47(6):560-6.

Topçuoğlu HS, Düzgün S, Aktı A et al (2017) Laboratory comparison of cyclic fatigue resistance of WaveOne Gold, Reciproc and WaveOne files in canals with a double curvature. **International Endodontic Journal**. doi: 10.1111/iej.12674.

Topçuoğlu HS, Zan R, Akpek F, Topçuoğlu G, Ulasan Ö, Aktı A, et al. Apically extruded debris during root canal preparation using Vortex Blue, K3XF, ProTaper Next, and Reciproc instruments. **International Endodontic Journal**. 2016;49(12):1183-7.

Turpin YL, Chagneau F, Vulcain JM. Impact of two theoretical cross-sections on torsional and bending stresses of nickel-titanium root canal instrument models. **Journal of Endodontics** 2000;26:414–7.

Uezu MK, Britto ML, Nabeshima CK, Pallotta RC. Comparison of debris extruded apically and working time used by ProTaper Universal rotary and ProTaper retreatment system during gutta-percha removal. **Journal of Applied Oral Scientist**. 2010;18(6):542-5.

Uygun AD, Kol E, Topcu MK, Seckin F, Ersoy I, Tanriver M. Variations in cyclic fatigue resistance among ProTaper Gold, ProTaper Next and ProTaper Universal instruments at different levels. **International Endodontic Journal**. 2014;49:494-9.

Varela-Patino P, Ibanez-Parraga A, Rivas-Mundi~na B, et al. Alternating versus continuous rotation: a comparative study of the effect on instrument life. **Journal of Endodontics**. 2010;36: 157–9.

Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology Endodontics**. 1984;58:589-99.

Walia HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. **Journal of Endodontics**. 1988;14(7):346-51.

Wan J, Rasimick BJ, Musikant BL, et al. A comparison of cyclic fatigue resistance in reciprocating and rotary nickel-titanium instruments. **Australian Endodontics Journal** 2011;37:122–7.

West JD (2010) The endodontic Glidepath: “secret to rotary safety”. **Dentistry Today** 29, 90–3.

Wu H, Peng C, Bai Y, Hu X, Wang L, Li C. Shaping ability of ProTaper Universal, WaveOne and ProTaper Next in simulated L-shaped and S-shaped root canals. **BMC Oral Health**. 2015;15:27.

Wu Min-Kai, Fan Big, Wesselink Paul R. Leakage Along Apical Root Fillings in Curved Root Canals. Part I: Effects of Apical Transportation on Seal of Root Filling. **Journal of Endodontics**. 2000;26(4):210-6.

Wu MK, Wesselink PR, Walton RE. Apical terminus location of root canal treatment procedures. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology Endodontics**. 2000;89(1):99-103.

Wycoff RC, Berzins DW. An in vitro comparison of torsional stress properties of three different rotary nickel-titanium files with a similar cross-sectional design. **Journal of Endodontics**. 2012;38:1118–20.

Yared, G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotatory instrument: preliminary observations. **International Endodontic Journal**. 2008;41(4):339-44.

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

Zhang EW, Cheung GS, Zheng YF. A mathematical model for describing the mechanical behaviour of root canal instruments. **International Endodontic Journal** 2011;44:72–6.

Zhao D, Shen Y, Peng B, Haapasalo M. Root canal preparation of mandibular molars with 3 nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomographic study. **Journal of Endodontics**. 2014;40:1860-4.

Zhou HM, Shen Y, Zheng W, et al. Mechanical properties of controlled memory and superelastic nickel-titanium wires used in the manufacture of rotary endodontic instruments. **Journal of Endodontics**. 2012;38:1535–40.

Zupanc J, Vahdat-Pajouh N, Schafer E. New thermomechanically treated NiTi alloys - a review. **International Endodontic Journal**, Londres, v. 51, n. 10, p. 1088.
