

*Artigo de Revisão de Literatura*  
*Literature Review Article*

# Tratamentos térmicos aplicados às ligas de níquel-titânio (NiTi) para prevenção de fratura do instrumental – uma revisão sistematizada da literatura

## Heat treatment applied to nickel-titanium (NiTi) alloys to prevent instrumental fracture – a systematized review of the literature

Flávio Resende Neves Teixeira<sup>1</sup>

Leandro Montes Pedroza Carvalho<sup>1</sup>

Pablo Donato Costa<sup>1</sup>

Jader Pinto<sup>1</sup>

Martinelle Ferreira da Rocha Taranto<sup>1</sup>

Raquel Auxiliadora Borges<sup>1</sup>

Flares Baratto-Filho<sup>2</sup>

César Penazzo Lepri<sup>3</sup>

Isabela Ribeiro Madalena<sup>1-3</sup>

### ***Autor para correspondência:***

Isabela Ribeiro Madalena

Faculdade de Odontologia, Centro Universitário Presidente Tancredo de Almeida Neves

Av. Dr. José Caetano de Carvalho, 751

CEP 36307-251 – São João del Rei – MG – Brasil

E-mail: isabelarmadalena@hotmail.com

<sup>1</sup> Centro Universitário Presidente Tancredo de Almeida Neves – São João del Rei – MG – Brasil.

<sup>2</sup> Universidade da Região de Joinville – Joinville – SC – Brasil.

<sup>3</sup> Departamento de Biomateriais, Universidade de Uberaba – Uberaba – MG – Brasil.

***Data de recebimento: 20 nov. 2023. Data de aceite: 20 dez. 2023.***

### ***Palavras-chave:***

Endodontia;  
instrumentos de  
níquel-titânio,  
tratamento térmico,  
falha de instrumento,  
análise de falha de  
instrumento.

### **Resumo**

**Introdução:** Vários tratamentos térmicos de ligas níquel-titânio (NiTi) foram desenvolvidos para melhorar as propriedades mecânicas e o desempenho clínico da terapia endodôntica. **Objetivo:** Realizar uma revisão sistematizada da literatura sobre a potencialidade dos tratamentos térmicos aplicados às limas endodônticas com ligas de NiTi para aumentar a resistência à fratura do instrumental. **Material e métodos:** Os estudos incluídos nesta revisão de literatura sistematizada

seguiram os parâmetros PICOS. A busca foi realizada na base de dados PubMed utilizando os seguintes descritores: endodontia, fratura de instrumento, análise de fratura de equipamento. Os dados dos estudos incluídos foram compilados e organizados de acordo com as características do estudo. **Resultados:** A busca recuperou 44 títulos e resumos. Apenas 18 artigos foram elegíveis para avaliação de artigo completo. Os resultados demonstram que diversos instrumentos são propostos na atualidade. Em relação aos testes *in vitro* de resistência a fratura, os instrumentos Hyflex – tecnologia CM-wire – se destacam. **Conclusão:** Os achados revelam que instrumentos com tratamento térmico CM-Wire são mais resistentes a fratura. Contudo mais estudos *in vivo* são necessários.

**Keywords:**

Endodontics; nickel-titanium instruments, heat-treated, equipment failure, equipment failure analysis.

**Abstract**

**Introduction:** Various heat treatments of nickel-titanium alloys (NiTi) have been developed to improve the mechanical properties and clinical performance of endodontic therapy. **Objective:** to carry out a systematic review of the literature on the potential of heat treatments applied to endodontic files with NiTi alloys to increase the fracture resistance of the instrument. **Material and methods:** The studies included in this systematic literature review followed the PICOS parameters. The search was carried out in the PubMed database using the following descriptors: endodontics; instrument fracture equipment fracture analysis. Data from the included studies were compiled and organized according to study characteristics. **Results:** The search retrieved 44 titles and abstracts. Only 18 articles were eligible for full article review. The results demonstrate that several instruments are currently proposed. Regarding *in vitro* fracture resistance tests, Hyflex instruments – CM-wire technology – stand out. **Conclusion:** The findings reveal that instruments with CM-Wire heat treatment are more resistant to fracture. However, more *in vivo* studies are needed.

**Introdução**

A terapia endodôntica, embora apresente taxas de sucesso muito elevadas [13], ainda é um procedimento bastante invasivo e complexo. Durante as etapas de instrumentação e modelagem do sistema de canais radiculares, complicações decorrentes de fratura do instrumento, desvio do conduto ou mesmo trepanação radicular, em razão principal da anatomia variável do sistema de canais radiculares e ausência de flexibilidade do instrumental de uso convencional, ainda são amplamente citadas [2, 8, 9, 24]. Diante do contexto, foram previamente propostos instrumentos endodônticos fabricados com ligas de níquel-titânio (NiTi). As limas de ligas de NiTi apresentam maior flexibilidade, garantindo riscos diminuídos de fratura do instrumento durante as etapas de instrumentação e modelagem do sistema de canais radiculares [2, 8, 9, 22, 23].

Ainda que as evidências científicas denotem melhora em relação à fratura dos instrumentais de NiTi, a fadiga do instrumental ainda é uma preocupação constante [2, 8, 9, 22, 23]. São descritas na literatura específica e correlata duas possibilidades de fratura dos instrumentos de NiTi. A fratura pela fadiga cíclica é descrita por ocorrer quando o instrumento é submetido a sucessivas cargas de compressão e tensão no mesmo ponto [2, 13, 22]; já a fadiga torcional é descrita, por sua vez, por ocorrer quando a ponta do instrumento está travada nas paredes da dentina e o instrumento continua a rotacionar, conduzindo a deformação plástica e/ou fratura [2, 22]. É válido ressaltar que a fratura pode ocorrer sem nenhum sinal de alerta; as distorções rotineiras podem ocasionar microtrincas a fraturas complexas, dependendo do tempo e modo de uso, além das características anatômicas radiculares do paciente [8, 9, 22, 24].

Diante de tal contexto, propôs-se na atualidade o tratamento termomecânico de instrumentos feitos de ligas convencionais de NiTi [8, 9, 22, 24]. O tratamento termomecânico de instrumentos endodônticos resulta em ligas de NiTi em três fases microestruturais – martensita, austenita e fase R –, intensificando características de resistência à fadiga e propriedades de flexão [8, 9, 22, 24]. Assim, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão sistematizada da literatura sobre a potencialidade do tratamento térmico aplicado às limas endodônticas com ligas de NiTi para aumentar a resistência à fratura do instrumental.

## Material e métodos

Protocolo, critérios de elegibilidade e pergunta focada

Os critérios de inclusão seguiram as recomendações da declaração PRISMA [15], seguindo os parâmetros PICOS, conforme segue:

P – População: instrumentos/limas endodônticas com ligas de NiTi;

I – Intervenção: tratamento térmico à superfície dos instrumentos de NiTi;

C – Comparação: receberão tratamento térmico ou não;

O – Resultado: melhora em relação à fratura do instrumental durante a instrumentação e modelagem do sistema de canais radiculares.

Incluíram-se apenas estudos experimentais dos últimos 10 anos, em língua inglesa e que possuíam resumo disponível. Excluíram-se manuscritos que não estivessem de acordo com os objetivos propostos para a realização desta pesquisa.

A questão foco foi: Tratamentos térmicos aplicados às limas endodônticas com ligas de NiTi diminuem o risco de fratura do instrumental durante a instrumentação e modelagem do sistema de canais radiculares?

Fontes de informação

Foi realizada uma ampla pesquisa até 7 de outubro de 2023, na base de dados Medline (PubMed).

Estratégia de busca

Foram incluídos termos MeSH (Medical Subject Headings) (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>) e termos livres na seguinte disposição: Os operadores booleanos “AND” e “OR” foram aplicados para combinar as palavras-chave e termos livres: (((((Endodontics[MeSH Terms]) OR (Endodontics)) OR (“nickel–titanium (NiTi)”) OR (“nickel-titanium instruments”) OR (“heat-treated NiTi”)) AND (((((((Equipment Failure[MeSH Terms]) OR (Equipment Failure Analysis[MeSH Terms]) OR (“Equipment Failure”) OR (“Equipment Failure Analysis”) OR (“austenitic NiTi alloy”) OR (“martensitic NiTi alloy”) OR (“thermomechanical treatment”)) OR (“metallurgical properties”)).

Fontes de evidências, processo de mapeamento de dados, itens de dados

Antes de iniciar a triagem para esta revisão, um formulário de mapeamento de dados foi desenvolvido em conjunto para determinar quais variáveis extrair. O revisor mapeou os dados, discutiu os resultados e atualizou continuamente o formulário de mapeamento de dados em um processo iterativo. Todos esses processos foram posteriormente revisados por um examinador experiente.

Os dados dos estudos incluídos foram compilados e organizados de acordo com as características do estudo.

## Resultados

Avaliaram-se 18 artigos. O fluxograma de artigos recuperados, incluídos e excluídos está resumido na figura 1. Diversos instrumentos foram incluídos no presente trabalho em relação a instrumental manual, rotatória (movimento contínuo) e recíprocante (movimento alternativo) e instrumentos voltados especificamente para terços coronal, apical e comprimento total do dente. Nossos achados revelam que superfícies com tratamento térmico – tecnologia CM-wire e movimento alternativo são mais resistentes a fratura. A tabela I demonstra as características dos artigos incluídos.

Figura 1 - Fluxograma proposto para a presente revisão sistematizada

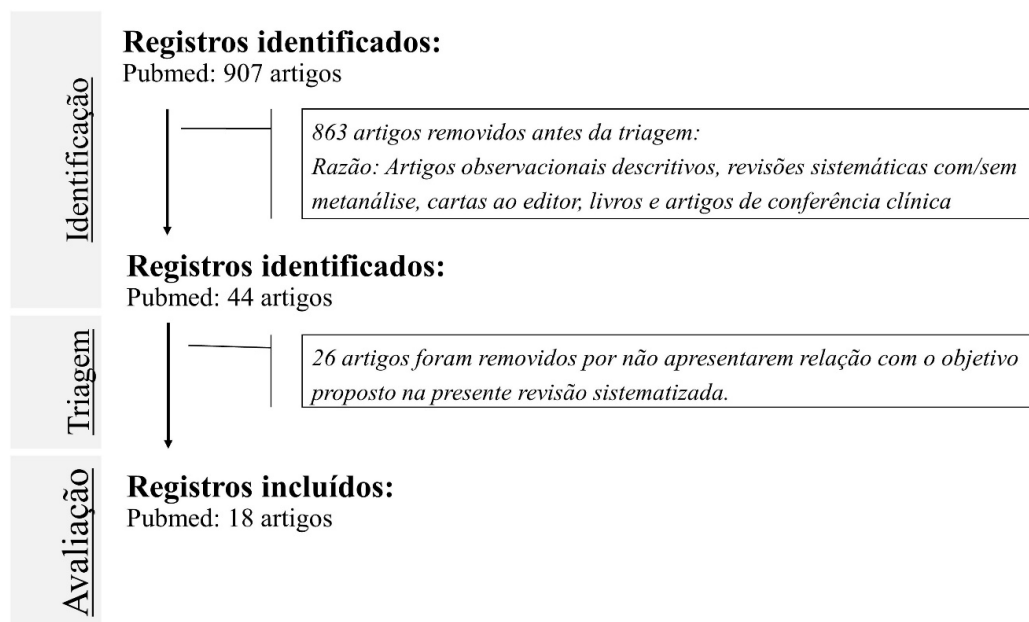


Tabela I - Características dos artigos incluídos

Autor/ano	Objetivos	Amostra	Resultados principais
Gambarini <i>et al.</i> [10]	Investigar se a resistência à fadiga cíclica é aumentada para instrumentos de NiTi fabricados com processos de aquecimento aprimorados em rotação contínua no sentido horário ou anti-horário	<ul style="list-style-type: none"> <li>- K3XF (SybronEndo, Orange, EUA)</li> <li>- ProFile Vortex (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça)</li> </ul>	K3XF revelou NCF significativamente maior quando comparado aos outros instrumentos em ambos os sentidos
Pérez-Higueras <i>et al.</i> [17]	Comparar a resistência a fadiga dos instrumentos K3, K3XF e TF sob rotação contínua e movimento alterativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- K3 (SybronEndo, Orange, EUA)</li> <li>- K3XF (SybronEndo, Orange, EUA)</li> <li>- TF (SybronEndo, Orange, EUA)</li> </ul>	K3XF revelou NCF significativamente maior quando comparado aos outros instrumentos. O movimento alternativo aumentou a resistência do NCF
Braga <i>et al.</i> [3]	Avaliar a influência do M-Wire e das tecnologias de memória controlada na resistência a fadiga de instrumentos rotatórios NiTi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- EndoWave (J. Morita Corp, Osaka, Japão);</li> <li>- HyFlex (Coltène-Whaledent, Altstätten, Suíça)</li> <li>- ProFile Vortex (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça)</li> <li>- Typhoon (Clinician's Choice Dental Products, New Milford, EUA)</li> <li>- ProTaper Universal (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça)</li> </ul>	M-Wire e tecnologias de memória aumentam significativamente o NCF dos instrumentos

Continua...

## Continuação da tabela I

Autor/ano	Objetivos	Amostra	Resultados principais
Capar <i>et al.</i> [4]	Comparar a resistência à fadiga cíclica de instrumentos de alargamento coronal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- HyFlex (Coltène-Whaledent, Altstätten, Suíça)</li> <li>- ProTaper Sx (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça)</li> <li>- Revo-S (Micro-Mega, Besançon, France)</li> </ul>	Revo-S e Hyflex revelaram NCF significativamente maior em comparação com os outros instrumentos testados em canais com curvatura leve - 45°. Revo-S revelou NCF significativamente maior em comparação com os outros instrumentos testados em canais com curvatura moderada - 60°
da Frota <i>et al.</i> [7]	Comparar a resistência à fadiga cíclica e a resistência à torção de sistemas alternativos e contínuos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mtwo rotativos (VDW, Munique, Alemanha)</li> <li>- WaveOne (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça)</li> <li>- ProTaper Universal (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça)</li> <li>- R25 (Reciproc, VDW, Munich, Alemanha)</li> <li>- ProTaper Universal (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça)</li> </ul>	O NCF e tempo de fratura foram maiores nos instrumentos de movimento alternativo quando comparados ao movimento contínuo
Pérez-Higueras <i>et al.</i> [17]	Comparar a resistência à fadiga cíclica dos instrumentos ProTaper Universal e ProTaper Next	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ProTaper Next (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça)</li> <li>- Vortex Blue (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça)</li> </ul>	ProTaper Next revelou tempo de fratura significativamente maior em comparação ao outro instrumento
Plotino <i>et al.</i> [20]	Avaliar a diferença na resistência à fadiga cíclica entre os instrumentos rotatórios Vortex Blue e Profile Vortex NiTi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ProFile (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça)</li> </ul>	Vortex Blue revelou NCF significativamente maior em comparação ao outro instrumento
Vadhana <i>et al.</i> [25]	Comparar a resistência à fadiga cíclica de limas rotativas RaCe e Mtwo em rotação contínua e movimento alternativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mtwo rotativos (VDW, Munique, Alemanha)</li> <li>- RaCe (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Suíça)</li> <li>- HyFlex (Coltène-Whaledent, Altstätten, Suíça)</li> </ul>	Mtwo e RaCe em movimento alternativo revelaram NCF significativamente maior que o movimento contínuo
Capar <i>et al.</i> [5]	Comparar a resistência à fadiga cíclica dos instrumentos ProTaper Next, HyFlex, OneShape com instrumentos Revo-S	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ProTaper Next (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça)</li> <li>- OneShape (MicroMega, Besancon, França)</li> <li>- Revo-S (Micro-Mega, Besançon, França)</li> </ul>	HyFlex revelou NCF significativamente maior quando comparado aos outros instrumentos

Continua...

## Continuação da tabela 1

<b>Autor/ano</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Amostra</b>	<b>Resultados principais</b>
Gambarini <i>et al.</i> [11]	Comparar a resistência à fadiga cíclica entre instrumentos SS-K e PathFiles	– PathFiles (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça) – SS manual K-files ISO (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça)	SS K revelou NCF e tempo de fratura significativamente maior em comparação ao outro instrumento
Topçuoğlu <i>et al.</i> [23]	Comparar a resistência à fadiga cíclica de instrumentos RaCe e ProTaper	– ProTaper Universal (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça) – D-RaCe (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Suíça)	Não houve diferença estatística entre canais com 45°. D-RaCe revelou NCF significativamente maior em comparação com o outro instrumento testado em canais com curvatura moderada – 60°
Adigüzel e Capar [1]	Comparar a resistência à fadiga cíclica dos instrumentos WaveOne e WaveOne Gold	– Wave One Gold (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) – Wave One (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça)	Wave One Gold revelou NCF significativamente maior em comparação ao outro instrumento
Chi <i>et al.</i> [6]	Comparar a resistência à fadiga de dois lotes de instrumentos de NiTi	– ProTaper Universal (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça) – ProFile (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça)	ProFile revelou NCF significativamente maior em comparação ao outro instrumento
Özyürek <i>et al.</i> [14]	Comparar a resistência à fadiga cíclica e propriedades de flexão dos instrumentos R-Pilot e WaveOne Gold Glider	– R-PILOT (VDW GmbH, Munich, Germany) – Wave One Gold Glider (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça)	R-PILOT revelou tempo de fratura e resistência a flexão significativamente maiores em comparação ao outro instrumento testado em canais curvos leves – 45°
Topçuoğlu <i>et al.</i> [24]	Comparar a resistência à fadiga cíclica de instrumentos R-Pilot e WaveOne Gold Glider em canais artificiais curvos	– R-PILOT (VDW GmbH, Munich, Alemanha) – Wave One Gold (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça)	R-PILOT revelou tempo de fratura e NCF semelhantes ao de Wave One Gold em canais curvos leves – 45°. Wave One Gold revelou tempo de fratura e NDF significativamente maiores em comparação com o outro instrumento testado em canais com curvatura moderada – 60°

Continua...



Continuação da tabela 1

Autor/ano	Objetivos	Amostra	Resultados principais
Gambarini <i>et al.</i> [9]	Comparar a resistência à fadiga cíclica dos instrumentos WaveOne Gold e EdgeOne Fire.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wave One Gold (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça)</li> <li>- Edge One Fire (EdgeEndo, Albuquerque, Novo México)</li> </ul>	Edge One Fire revelou tempo de fratura significativamente maior em comparação com o outro instrumento testado em canais com curvatura severa - 90°
Elnaghy <i>et al.</i> [8]	Comparar a resistência à fadiga cíclica de instrumentos TruNatomy, HyFlex Cm, Vortex Blue e RaCe	<ul style="list-style-type: none"> <li>- HyFlex CM (Coltène-Whaledent, Altstätten, Suíça)</li> <li>- Vortex Blue (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça)</li> <li>- RaCe (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Suíça)</li> <li>- TruNatomy (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça)</li> </ul>	TruNatomy e HyFlex CM revelaram NCF significativamente maior em comparação com os outros instrumentos para ambos os tamanhos testados em canais de curvatura simples e dupla

Legenda: NCF - número de ciclos até fratura

## Discussão

A instrumentação e a modelagem do sistema de canais radiculares ainda são procedimentos bastante complexos em razão principal da anatomia dentária variável e ausência de flexibilidade do instrumental de uso convencional [2, 8, 9, 22, 24]. Dessa forma, nos últimos anos, vários tratamentos térmicos de ligas NiTi foram desenvolvidos para melhorar as propriedades mecânicas e o desempenho clínico da terapia endodôntica [2, 8, 9, 22, 24]. Assim, o objetivo do presente trabalho foi realizar uma revisão sistematizada da literatura sobre a potencialidade do tratamento térmico aplicado às limas endodônticas com ligas de NiTi para aumentar a resistência a fratura do instrumental. Nossos resultados demonstram que tratamento térmico aumenta significativamente a resistência a fratura dos instrumentais. Demais pesquisas são necessárias para fortalecer evidências científicas específicas e correlatas, uma vez que os estudos incluídos na presente revisão foram realizados *in vitro*.

O comportamento mecânico das ligas NiTi está relacionado com as proporções e as características das fases microestruturais - martensita, austenita e fase R [4]. As ligas de NiTi convencionais apresentam-se predominantemente na fase austenita

à temperatura ambiente, apresentando maior resistência e dureza [16]. Os tratamentos térmicos aplicados aos instrumentos de NiTi aumentam a temperatura de transformação de fase austenita - martensita, fazendo que o instrumento apresente a fase martensita em temperaturas mais altas, então, na condição de uso os instrumentos apresentam maior flexibilidade com características macias e dúcteis, fazendo com que percam o efeito de memória de forma característica das ligas de NiTi convencionais. A fase R é intermediária, com uma estrutura romboédrica que pode se formar durante a transformação direta de martensita em austenita no aquecimento e na transformação reversa de austenita em martensita no resfriamento [21].

O processamento térmico é considerado uma das abordagens mais eficazes para modificar as temperaturas de transição das ligas de NiTi, aumentando a flexibilidade e a resistência à fadiga cíclica [8, 9, 24]. Podem-se citar instrumentos de NiTi termomecânicamente processados como o K3XF, Hyflex, Vortex Blue, ProFile, ProFile Vortex, R25, Typhoon, TF, WaveOne e WaveOne Gold [1, 3-6, 8-11, 14, 17, 18, 20, 23, 25].

Em nossos resultados os instrumentos HyFlex destacaram-se em relação à resistência a fratura [3-5, 8]. Os instrumentos Hyflex são submetidos a um complexo tratamento de aquecimento e

resfriamento, fazendo com que os instrumentos fiquem martensíticos à temperatura ambiente, sem a memória de forma superelástica das ligas convencionais de NiTi. Conseqüentemente, os instrumentos de NiTi com memória controlada – tecnologia CM-Wire – permitem melhor manutenção da curvatura original do canal e melhoram a eficácia dos instrumentos no tratamento do canal radicular [26]. Instrumentos com esse tratamento também oferecem a possibilidade de serem pré-curvados suavemente, o que facilita a introdução em canais de difícil acesso [26]. Os instrumentos Hyflex só não foram superiores no estudo de Capar *et al.* [4] em canais com curvatura moderada; tal resultado foi justificado pelo uso excessivo dos instrumentos.

O instrumento Vortex Blue é outro sistema que controla a memória de forma da liga NiTi e apresentou-se com destaque em relação aos demais instrumentos estudados na presente revisão [8, 20]. A fabricação do Vortex Blue é baseada em uma tecnologia própria que forma uma camada de óxido azul na superfície do instrumento. Alega-se que esse processamento pode reduzir a memória de forma em relação aos instrumentos NiTi convencionais, que tentam reverter para sua forma original, em virtude das características de memória de forma do padrão NiTi. Essa propriedade dá às limas Vortex Blue capacidade de manter a forma estável à temperatura corporal – tecnologia Blue-Wire [20]. A camada azul de óxido de titânio também aumenta a eficiência de corte e a resistência ao desgaste do instrumento [20]. O estudo de Elnaghy *et al.* [8] foi o único em nosso trabalho que comparou Hyflex e Vortex Blue, tendo a superioridade dos instrumentos de Hyflex para utilização em canais com angulações simples e duplas.

Outro instrumento também muito citado foi o WaveOne Gold [1, 9, 14, 17, 24]. WaveOne Gold é a nova versão do sistema WaveOne, tendo como principal alteração o tratamento térmico Gold-wire, que faz com que esse instrumento tenha uma coloração dourada graças à espessura de óxido de titânio formada em sua superfície [1]. A dimensão e a forma da seção transversal também foram otimizadas, enquanto seu movimento recíprocante foi preservado. O tratamento térmico Gold-wire para WaveOne Gold é realizado após a produção por aquecimento e resfriamento lento das limas, diferentemente da tecnologia M-Wire. Metalurgicamente, as limas de ouro tratadas termicamente são mais variadas, proporcionando maior flexibilidade do que as limas NiTi tradicionais e limas M-Wire [12], oposto dos resultados encontrados na presente revisão [9, 14]. Ademais,

é interessante ressaltar que no estudo de Gambarini *et al.* [9] instrumentos EdgeOneFire apresentaram melhores resultados quando aplicados em canais curvos severos (90°).

Os instrumentos WaveOne Gold e EdgeOneFire são semelhantes em *design* e são utilizados com o mesmo programa recíprocante. Diante disso, o resultado foi sugerido em virtude do peculiar aspecto tridimensional da matriz cristalina da liga Fire-wire utilizada em instrumentos EdgeOneFire, que confere maior flexibilidade e resistência à fadiga cíclica aos instrumentos quando comparados ao Gold. É interessante também destacar que, em casos de instrumentos destinados ao preparo do terço apical, o uso dos instrumentos WaveOne Gold Glider também fora desencorajado em relação à resistência da fratura [14]. Em testes de fadiga cíclica, o diâmetro de uma lima no seu ponto de curvatura máxima dentro de um canal artificial afeta sua resistência. Ao examinar a área superficial fraturada durante o estudo, determinou-se que a área da seção transversal horizontal das limas Wave One Gold Glider no ponto de tensão máxima era maior do que a das limas R-Pilot [14].

O último instrumento também citado foi o K3XF, feito com liga de NiTi fase R, utilizado em movimento contínuo. Os estudos de Gambarini *et al.* [10] e Pérez-Higueras *et al.* [18] com certeza auxiliaram no processo evolutivo dos instrumentos termomecânicos quando evidenciaram que as diferenças tanto na seção transversal quanto no processo de fabricação (retificação ou torção de um fio de liga da fase R) afetaram seu comportamento.

Recentemente, também se faz digno de nota que os instrumentos TruNatomy foram desenvolvidos como um novo tipo de instrumento NiTi tratado termicamente com um *design* especial [8]. Os instrumentos de modelagem TruNatomy são fornecidos em três tamanhos diferentes: pequeno (tamanho 20/0,04 cônico), principal (tamanho 26/0,04 cônico) e médio (tamanho 36/0,03 cônico). O fabricante afirmou que os três instrumentos de modelagem proporcionam um formato fino que melhora o desbridamento graças ao maior espaço disponível pelo *design* exclusivo do instrumento. Um único estudo [8] no presente trabalho avaliou os instrumentos TruNatomy. Contudo é importante comentar que os resultados são semelhantes aos dos instrumentos HyFlex.

Em relação aos sistemas de instrumentação rotatória e recíprocante, a instrumentação recíprocante demonstrou-se superior na maioria dos estudos quando testada a resistência à fratura [7, 18, 25]. A possível explicação se dá pelo acúmulo



de raspas de dentina que, tencionadas perante o instrumental e paredes dos canais radiculares, faz com que os instrumentos rotatórios fraturem [19].

## Conclusão

Embora nossos achados revelem que os instrumentos com tratamento térmico CM-Wire são superiores em comparação aos demais instrumentos em relação à resistência a fratura, mais estudos *in vivo* são necessários.

## Declaração de conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesse.

## Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) – Brasil.

## Financiamento

A pesquisa foi realizada com apoio financeiro da Capes-Brasil – PDPG/POSDOC/Bolsa – n.º 88887.755620/2022-00.

## Referências

1. Adigüzel M, Capar ID. Comparison of cyclic fatigue resistance of WaveOne and WaveOne Gold Small, primary, and large instruments. *J Endod.* 2017 Apr;43(4):623-7.
2. Alcalde MP, Tanomaru-Filho M, Bramante CM, Duarte MAH, Guerreiro-Tanomaru JM, Camilo-Pinto J et al. Cyclic and torsional fatigue resistance of reciprocating single files manufactured by different nickel-titanium alloys. *J Endod.* 2017 Jul;43(7):1186-91.
3. Braga LC, Faria Silva AC, Bueno VT, Azevedo Bahia MG. Impact of heat treatments on the fatigue resistance of different rotary nickel-titanium instruments. *J Endod.* 2014 Sep;40(9):1494-7.
4. Capar ID, Ertas H, Arslan H. Comparison of cyclic fatigue resistance of nickel-titanium coronal flaring instruments. *J Endod.* 2014 Aug;40(8):1182-5.

5. Capar ID, Ertas H, Arslan H. Comparison of cyclic fatigue resistance of novel nickel-titanium rotary instruments. *Aust Endod J.* 2015 Apr;41(1):24-8.

6. Chi CW, Li CC, Lin CP, Shin CS. Cyclic fatigue behavior of nickel-titanium dental rotary files in clinical simulated root canals. *J Formos Med Assoc.* 2017 Apr;116(4):306-12.

7. da Frota MF, Espir CG, Berbert FL, Marques AA, Sponchiado-Junior EC, Tanomaru-Filho M et al. Comparison of cyclic fatigue and torsional resistance in reciprocating single-file systems and continuous rotary instrumentation systems. *J Oral Sci.* 2014 Dec;56(4):269-75.

8. Elnaghy AM, Elsaka SE, Mandorah AO. In vitro comparison of cyclic fatigue resistance of TruNatomy in single and double curvature canals compared with different nickel-titanium rotary instruments. *BMC Oral Health.* 2020 Feb 4;20(1):38.

9. Gambarini G, Galli M, Di Nardo D, Seracchiani M, Donfrancesco O, Testarelli L. Differences in cyclic fatigue lifespan between two different heat treated NiTi endodontic rotary instruments: WaveOne Gold vs EdgeOne Fire. *J Clin Exp Dent.* 2019 Jul 1;11(7):e609-e613.

10. Gambarini G, Gergi R, Grande NM, Osta N, Plotino G, Testarelli L. Cyclic fatigue resistance of newly manufactured rotary nickel titanium instruments used in different rotational directions. *Aust Endod J.* 2013 Dec;39(3):151-4.

11. Gambarini G, Plotino G, Sannino G, Grande NM, Giansiracusa A, Piasecki L et al. Cyclic fatigue of instruments for endodontic glide path. *Odontology.* 2015 Jan;103(1):56-60.

12. Hou XM, Yang YJ, Qian J. Phase transformation behaviors and mechanical properties of NiTi endodontic files after gold heat treatment and blue heat treatment. *J Oral Sci.* 2020 Dec 23;63(1):8-13.

13. Karamifar K, Tondari A, Saghiri MA. Endodontic periapical lesion: an overview on the etiology, diagnosis and current treatment modalities. *Eur Endod J.* 2020 Jul 14;5(2):54-67.

14. Özyürek T, Uslu G, Gündoğar M, Yılmaz K, Grande NM, Plotino G. Comparison of cyclic fatigue resistance and bending properties of two reciprocating nickel-titanium glide path files. *Int Endod J.* 2018 Sep;51(9):1047-52.

15. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021 Mar 29;372:n71.
16. Pereira ES, Peixoto IF, Viana AC, Oliveira II, Gonzalez BM, Buono VT et al. Physical and mechanical properties of a thermomechanically treated NiTi wire used in the manufacture of rotary endodontic instruments. *Int Endod J*. 2012 May;45(5):469-74.
17. Pérez-Higueras JJ, Arias A, de la Macorra JC, Peters OA. Differences in cyclic fatigue resistance between ProTaper Next and ProTaper Universal instruments at different levels. *J Endod*. 2014 Sep;40(9):1477-81.
18. Pérez-Higueras JJ, Arias A, de la Macorra JC. Cyclic fatigue resistance of K3, K3XF, and twisted file nickel-titanium files under continuous rotation or reciprocating motion. *J Endod*. 2013 Dec;39(12):1585-8.
19. Pinto JC, Pivoto-João MMB, Espir CG, Ramos MLG, Guerreiro-Tanomaru JM, Tanomaru-Filho M. Micro-CT evaluation of apical enlargement of molar root canals using rotary or reciprocating heat-treated NiTi instruments. *J Appl Oral Sci* 2019;27:e20180689.
20. Plotino G, Grande NM, Cotti E, Testarelli L, Gambarini G. Blue treatment enhances cyclic fatigue resistance of vortex nickel-titanium rotary files. *J Endod*. 2014 Sep;40(9):1451-3.
21. Tabassum S, Zafar K, Umer F. Nickel-titanium rotary file systems: What's new? *Eur Endod J*. 2019 Oct 18;4(3):111-7.
22. Tanomaru-Filho M, Galletti Espir C, Carolina Venção A, Macedo-Serrano N, Camilo-Pinto J et al. Cyclic fatigue resistance of heat-treated nickel-titanium instruments. *Iran Endod J*. 2018 Summer;13(3):312-7.
23. Topçuoğlu HS, Topçuoğlu G, Aktı A. Comparative evaluation of cyclic fatigue resistance of D-RaCe and ProTaper retreatment instruments in curved artificial canals. *Int Endod J*. 2016 Jun;49(6):604-9.
24. Topçuoğlu HS, Topçuoğlu G, Kafdağ Ö, Arslan H. Cyclic fatigue resistance of new reciprocating glide path files in 45- and 60-degree curved canals. *Int Endod J*. 2018 Sep;51(9):1053-8.
25. Vadhana S, SaravanaKarthikeyan B, Nandini S, Velmurugan N. Cyclic fatigue resistance of RaCe and Mtwo rotary files in continuous rotation and reciprocating motion. *J Endod*. 2014 Jul;40(7):995-9.
26. Zupanc J, Vahdat-Pajouh N, Schäfer E. New thermomechanically treated NiTi alloys – a review. *Int Endod J*. 2018 Oct;51(10):1088-103.