

TRATAMENTOS TÉRMICOS APLICADOS A INSTRUMENTOS ENDODONTICOS DE NIQUEL-TITANIO (NiTi) – UMA REVISÃO SISTEMATIZADA DA LITERATURA

Flávio Resende Neves Teixeira¹
 Leandro Montes Pedroza Carvalho²
 Pablo Donato Costa³
 Gabriela Fonseca-Souza⁴
 Jader Pinto⁵
 Martinelle Ferreira da Rocha Taranto⁶
 Raquel Auxiliadora Borges⁷
 Isabela Ribeiro Madalena⁸

Resumo: Vários tratamentos térmicos de ligas níquel-titanio (NiTi) foram desenvolvidos para melhorar as propriedades mecânicas e o desempenho clínico da terapia endodôntica. Assim, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão sistematizada da literatura sobre a potencialidade dos tratamentos térmicos aplicados aos instrumentos endodônticos com ligas de NiTi para aumentar a resistência à fratura do instrumental. Os estudos incluídos no presente trabalho 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. A busca recuperou 44 títulos e resumos. Apenas 18 artigos foram elegíveis para avaliação de artigo completo. Nossos resultados demonstram que diversos instrumentos são propostos na atualidade. Em relação aos teste *in vitro* de resistência a fratura, os instrumentos Hyflex – tecnologia CM-wire – se destacam. Em conclusão, nossos achados revelam que instrumentos com tratamento térmico CM-Wire são mais resistente a fratura. Contudo, mais estudos *in vivo* são necessários.

Palavras-chave: Endodontia; fratura de equipamento; análise de fratura de equipamento

1 INTRODUÇÃO

A terapia endodôntica embora apresente taxas de sucesso muito elevadas (Karamifar; Tondari; Saghir, 2020) ainda é um procedimento bastante invasivo e complexo. Durante as etapas de instrumentação e modelagem do sistema de canais radiculares, complicações devido

¹Discente do Curso de Odontologia do Centro Universitário Presidente Tancredo de Almeida Neves - UNIPTAN. E-mail: flavionevest@gmail.com

²Discente do Curso de Odontologia do Centro Universitário Presidente Tancredo de Almeida Neves - UNIPTAN. E-mail: leomontespc@gmail.com

³Discente do Curso de Odontologia do Centro Universitário Presidente Tancredo de Almeida Neves - UNIPTAN. E-mail: pablo-dc21@hotmail.com

⁴ Discente da Universidade Federal do Paraná. E-mail: gabifonsecasadesouza@gmail.com

⁵Docente no Curso de Odontologia do Centro Universitário Presidente Tancredo de Almeida Neves - UNIPTAN. E-mail: jader.pinto@uniptan.edu.br

⁶Docente no Curso de Odontologia do Centro Universitário Presidente Tancredo de Almeida Neves - UNIPTAN. E-mail: martinelle.taranto@uniptan.edu.br

⁷Docente no Curso de Odontologia do Centro Universitário Presidente Tancredo de Almeida Neves – UNIPTAN. E-mail: raquel.borges@uniptan.edu.br

⁸Docente no Curso de Odontologia do Centro Universitário Presidente Tancredo de Almeida Neves – UNIPTAN. E-mail: isabelarmadalena@hotmail.com

a 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 (Alcalde *et al.*, 2017; Topçuoğlu *et al.*, 2018; Gambarini *et al.*, 2019; Elnaghy *et al.*, 2020). Diante o 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 (Alcalde *et al.*, 2017; Tanomaru-Filho *et al.*, 2018; Topçuoğlu *et al.*, 2018; Gambarini *et al.*, 2019; Elnaghy *et al.*, 2020).

Embora as evidências científicas denotem melhora em relação à fratura dos instrumentais de NiTi, a fadiga do instrumental ainda é uma preocupação contante (Alcalde *et al.*, 2017; Tanomaru-Filho *et al.*, 2018; Topçuoğlu *et al.*, 2018; Gambarini *et al.*, 2019; Elnaghy *et al.*, 2020). São descritas na literatura específica e correlata ademais, 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 (Kawakami *et al.*, 2007; Alcalde *et al.*, 2017; Tanomaru-Filho *et al.*, 2018;) 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 (Kawakami *et al.*, 2007; Alcalde *et al.*, 2017; Tanomaru-Filho *et al.*, 2018). É válido ressaltar que a fratura pode ocorrer sem nenhum sinal de alerta; as distorções rotineiras podem ocasionar microtrincas à fraturas complexas dependentes do tempo e modo de uso, além das características anatómicas radiculares do paciente (Tanomaru-Filho *et al.*, 2018; Topçuoğlu *et al.*, 2018; Gambarini *et al.*, 2019; Elnaghy *et al.*, 2020).

Diante tal contexto, foi proposto da atualidade também o tratamento termomecânico de instrumentos feitos de ligas convencionais de NiTi (Alcalde *et al.*, 2017; Topçuoğlu *et al.*, 2018; Gambarini *et al.*, 2019; Elnaghy *et al.*, 2020). O tratamento termomecânico de instrumentos endodônticos resulta em ligas de NiTi em três fases microestruturais, martensítica, austenita e fase R, intensificando características de resistência à fadiga e propriedades de flexão (Alcalde *et al.*, 2017; Topçuoğlu *et al.*, 2018; Gambarini *et al.*, 2019; Elnaghy *et al.*, 2020). Assim, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão sistematizada da literatura sobre a potencialidade do tratamento térmicos aplicados aos instrumentos endodônticos com ligas de NiTi para aumentar a resistência à fratura do instrumental.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Protocolo, critérios de elegibilidade e pergunta focada

Os critérios de inclusão seguiram as recomendações da declaração PRISMA (Page *et al.*, 2021), 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;

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

A questão foco foi: Tratamentos térmicos aplicados aos instrumentos endodônticos de ligas NiTi diminuem o risco de fratura do instrumental durante a instrumentação e modelagem do sistema de canais radiculares?

2.2 Fontes de informação

Foi realizada uma ampla pesquisa até 07 de outubro de 2023, nas seguintes bases de dados: MEDLINE (PubMed).

2.3 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"))).

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

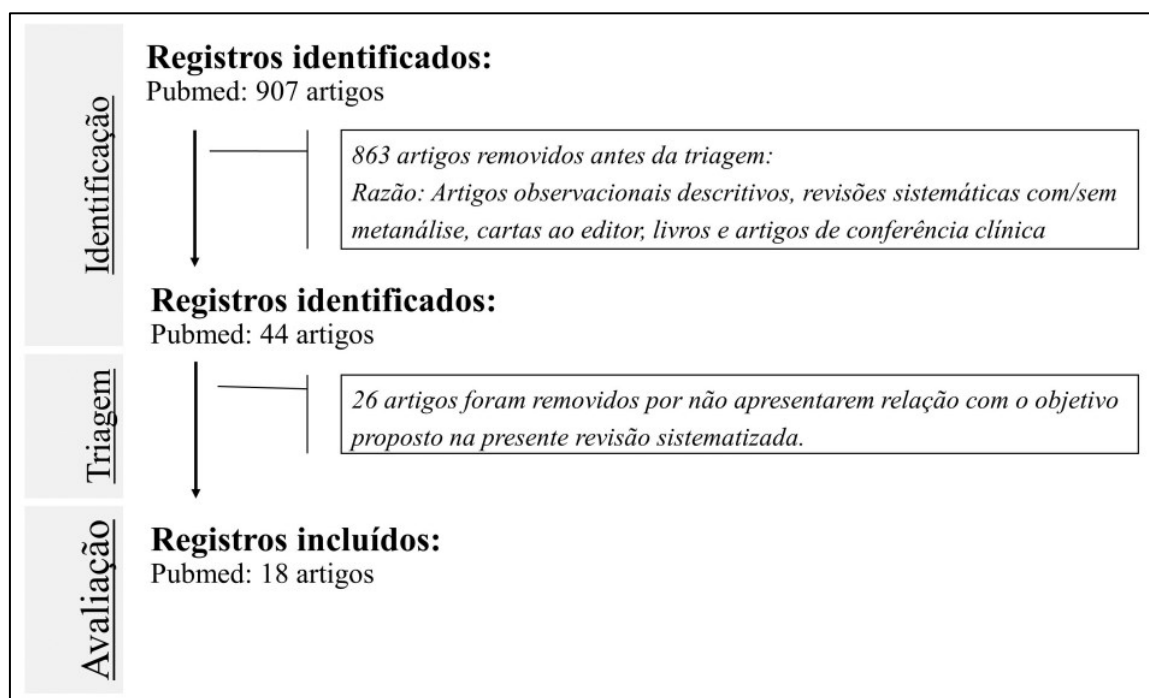
Antes de iniciar a triagem para esta revisão, um formulário de mapeamento de dados foi desenvolvido em conjunto para determinar quais variáveis extrair. O revisor mapeou os dados, discutiu os resultados e atualizou continuamente o formulário de mapeamento de dados em um processo iterativo. Todos esses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

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

3 RESULTADOS

Dezoito artigos foram avaliados. 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), reciprocante (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 resistente a fratura. A Tabela 1 demonstra as características dos artigos incluídos.

Figura 1. Fluxograma proposto para a presente revisão sistematizada.



Fonte: Os autores.

Tabela 1. Características dos artigos incluídos.

Autor/ano	Objetivos	Amostra	Resultados principais
Gambarini <i>et al.</i> (2013)	Investigar se a resistência à fadiga cíclica é aumentada para instrumentos NiTi fabricados com processos de aquecimento aprimorados em rotação contínua no sentido horário ou anti-horário	- K3XF (SybronEndo, Orange, EUA) - ProFile Vortex (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça)	K3XF revelou NCF significativamente maior quando comparado aos outros instrumentos em ambos os sentidos
Pérez-Higueras <i>et al.</i> (2013)	Comparar a resistência a fadiga dos instrumentos K3, K3XF e TF sob rotação contínua e movimento alterativo	- K3 (SybronEndo, Orange, EUA) - K3XF (SybronEndo, Orange, EUA) - TF (SybronEndo, Orange, EUA)	K3XF revelou NCF significativamente maior quando comparado aos outros instrumentos; O movimento alternativo aumentou a resistência do NCF
Braga <i>et al.</i> (2014)	Avaliar a influência do M-Wire e das tecnologias de memória controlada na resistência à fadiga de instrumentos rotatórios NiTi	- EndoWave (J. Morita Corp, Osaka, Japão); - HyFlex (Coltène-Whaledent, Altstätten, Suíça) - ProFile Vortex (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça) - Typhoon (Clinician's Choice Dental Products, New Milford, EUA) - ProTaper Universal (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça)	M-Wire e tecnologias de memória aumentam significativamente o NCF dos instrumentos
Capar <i>et al.</i> (2014)	Comparar a resistência à fadiga cíclica de instrumentos de alargamento coronal	- HyFlex (Coltène-Whaledent, Altstätten, Suíça) - ProTaper Sx (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça) - Revo-S (Micro-Mega, Besançon, France)	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 testado em canais com curvatura moderada – 60°
da Frota <i>et al.</i> (2014)	Comparar a resistência à fadiga cíclica e a resistência à torção de sistemas alternativos e contínuos	- Mtwo rotativos (VDW, Munique, Alemanha) - WaveOne (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) - ProTaper Universal (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça) - R25 (Reciproc, VDW, Munich, Alemanha)	O NCF e tempo de fratura foram maiores nos instrumentos de movimento alternativo quando comparados ao movimento contínuo
Nguyen <i>et al.</i> (2014)	Comparar a resistência à fadiga cíclica dos instrumentos rotatórios ProTaper Next, ProTaper Universal e Vortex Blue	- ProTaper Next (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça) - ProTaper Universal (Dentsply Sirona,	Vortex Blue revelou NCF significativamente maior que ProTaper Next; ProTaper Next revelou NCF significativamente maior que ProTaper Universal

		Ballaigues, Suíça) - Vortex Blue (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça)	
Pérez-Higueras <i>et al.</i> (2014)	Comparar a resistência à fadiga cíclica dos instrumentos ProTaper Universal e ProTaper Next	- ProTaper Universal (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça) - ProTaper Next (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça)	ProTaper Next revelou tempo de fratura significativamente maior em comparação ao outro instrumento
Plotino <i>et al.</i> (2014)	Avaliar a diferença na resistência à fadiga cíclica entre os instrumentos rotatórios Vortex Blue e Profile Vortex NiTi	- Vortex Blue (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça) - ProFile (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça)	Vortex Blue revelou NCF significativamente maior em comparação ao outro instrumento
Vadhana <i>et al.</i> (2014)	Comparar a resistência à fadiga cíclica de limas rotativas RaCe e Mtwo em rotação contínua e movimento alternativo	- Mtwo rotativos (VDW, Munique, Alemanha) - RaCe (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Suíça)	Mtwo e RaCe em movimento alternativo revelaram NCF significativamente maior que o movimento contínuo
Capar <i>et al.</i> (2015)	Comparar a resistência à fadiga cíclica dos instrumentos ProTaper Next, HyFlex, OneShape com instrumentos Revo-S	- HyFlex (Coltène-Whaledent, Altstätten, Suíça) - ProTaper Next (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça) - OneShape (MicroMega, Besancon, France) - Revo-S (Micro-Mega, Besançon, France)	HyFlex revelou NCF significativamente maior quando comparados aos outros instrumentos
Gambarini <i>et al.</i> (2015)	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
Topçuoglu <i>et al.</i> (2016)	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 <i>et al.</i> (2017)	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> (2017)	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
Ozyurek <i>et al.</i> (2018)	Comparar a resistência à fadiga cíclica e propriedades de flexão dos instrumentos	- R-PILOT (VDW GmbH, Munich, Germany)	R-PILOT revelou tempo de fratura e resistência a flexão significativamente maior em comparação ao outro

	R-Pilot e WaveOne Gold Glider	- Wave One Gold Glider (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça)	instrumento testado em canais curvos leves - 45°;
Topçuoglu <i>et al.</i> (2018)	Comparar a resistência à fadiga cíclica de instrumentos R-Pilot e WaveOne Gold Glider em canais artificiais curvos	- R-PILOT (VDW GmbH, Munich, Germany) - Wave One Gold (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça)	R-PILOT revelou tempo de fratura e NCF semelhante ao Wave One Gold em canais curvos leves - 45°; Wave One Gold revelou tempo de fratura e NDF significativamente maior em canais com curvatura moderada – 60°
Gambarini <i>et al.</i> (2019)	Comparar a resistência à fadiga cíclica dos instrumentos WaveOne Gold e EdgeOne Fire.	- Wave One Gold (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) - Edge One Fire (EdgeEndo, Albuquerque, Novo México)	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> (2020)	Comparar a resistência à fadiga cíclica de instrumentos TruNatomy, HyFlex Cm, Vortex Blue e RaCe	- HyFlex CM (Coltène-Whaledent, Altstätten, Suíça) - Vortex Blue (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça) - RaCe (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Suíça) - TruNatomy (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça)	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.

Fonte: Os autores.

4 DISCUSSÃO

A instrumentação e 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 (Alcalde *et al.*, 2017; Tanomaru-Filho *et al.*, 2018; Topçuoglu *et al.*, 2018; Gambarini *et al.*, 2019; Elnaghy *et al.*, 2020). Desta forma, nos últimos anos, vários tratamentos térmicos de ligas NiTi foram desenvolvidos para melhorar as propriedades mecânicas e o desempenho clínico da terapia endodotica (Alcalde *et al.*, 2017; Tanomaru-Filho *et al.*, 2018; Topçuoglu *et al.*, 2018; Gambarini *et al.*, 2019; Elnaghy *et al.*, 2020). Assim, o objetivo do presente trabalho foi realizar uma revisão sistematizada da literatura sobre a potencialidade do tratamento térmicos aplicados às limas endodônticas com ligas de NiTi para aumentar a resistência à fratura do instrumental. Nossos resultados demonstram que tratamento térmico aumentam significativamente a resistência a fratura dos instrumentais. Demais estudos são necessários 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 a com as proporções e as características das fases microestruturais, Martensita, Austenita e Fase R (Capar *et al.*, 2014). As ligas de NiTi convencionais apresentam-se predominantemente na fase austenita à temperatura ambiente, apresentando maior resistência e dureza (Pereira *et al.*, 2012). 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 perca o efeito de memória de forma característico das ligas de Niti convencionais. A fase R é uma fase 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 (Tabassum; Zafar; Umer, 2019).

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 (Topçuoglu *et al.*, 2018; Gambarini *et al.*, 2019; Elnaghy *et al.*, 2020), pode-se citar instrumentos de NiTi termomecanicamente processados como o K3XF, Hyflex, Vortex Blue, ProFile, ProFile Vortex, R25, Typhoon, TF, WaveOne e WaveOne Gold (Gambarini *et al.*, 2013; Perez-Higueras *et al.*, 2013; Braga *et al.*, 2014; Capar *et al.*, 2014; Nguyen *et al.*, 2014; Perez-Higueras *et al.*, 2014; Plotino *et al.*, 2014; Vadhana *et al.*, 2014;

Capar *et al.*, 2015; Gambarini *et al.*, 2015; Topçuoglu *et al.*, 2016; Adiguzel *et al.*, 2017; Chi *et al.*, 2017; Ozyurek *et al.*, 2018; Topçuoglu *et al.*, 2018; Gambarini *et al.*, 2019; Elnaghy *et al.*, 2020).

Em nossos resultados os instrumentos HyFlex destacaram-se em relação a resistência a fratura (Braga *et al.*, 2014; Capar *et al.*, 2014; Capar *et al.*, 2015; Elnaghy *et al.*, 2020). 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. Consequentemente, 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 (Zupanc *et al.*, 2018). Instrumentos com este tratamento também oferecem a possibilidade de serem pré-curvados suavemente facilitando a introdução em canais de difícil acesso (Zupanc *et al.*, 2018). Os instrumentos Hyflex só não demonstraram-se superiores no estudo de Capar *et al.* (2014) 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 (Nguyen *et al.*, 2014; Plotino *et al.*, 2014; Elnaghy *et al.*, 2020). 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 este processamento pode reduzir a memória de forma em relação aos instrumentos NiTi convencionais, que tentam reverter para sua forma original devido às características de memória de forma do padrão NiTi. Esta propriedade dá às limas Vortex Blue, capacidade de manter a forma estável à temperatura corporal – tecnologia Blue-Wire (Plotino *et al.*, 2014). A camada azul de óxido de titânio também aumenta a eficiência de corte e a resistência ao desgaste do instrumento (Plotino *et al.*, 2014). O estudo de Elnaghy *et al.* (2020) 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, (da Frota *et al.*, 2014; Adiguzel *et al.*, 2017; Topçuoglu *et al.*, 2018; Ozyurek *et al.*, 2018; Gambarini *et al.*, 2019). WaveOne Gold é a nova versão do sistema WaveOne, tendo como principal alteração o tratamento térmico Gold-wire, que faz com que este instrumento tenha uma coloração dourada devido à espessura de óxido de titânio formada em sua superfície (Adiguzel *et al.*, 2017). A dimensão e a forma da secção transversal também foram otimizadas, enquanto seu movimento reciprocante foi preservado. O tratamento térmico Gold-wire para WaveOne Gold é realizado

após a produção por aquecimento e resfriamento lento das limas, diferente 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 (Xiao-Mei-Hou *et al.*, 2020), oposto dos resultados encontrados na presente revisão (Ozyurek *et al.*, 2018; Gambarini *et al.*, 2019). Ademais, é interessante ressaltar que no estudo Gambarini *et al.* (2019) 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 reciprocante. Diante disso, o resultado foi sugerido devido ao 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, desencorajados em relação à resistência da fratura (Ozyurek *et al.*, 2018). Em testes de fadiga cíclica, o diâmetro de uma lima no seu ponto de curvatura máxima dentro de um canal artificial afeta sua resistência (Grande *et al.*, 2006). Ao examinar a área superficial fraturada durante o estudo, foi determinado 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 (Ozyurek *et al.*, 2018).

O último instrumento também citado foi o K3XF feito com liga de NiTi fase R (Gambarini *et al.*, 2013; Perez-Higuera *et al.*, 2013) utilizado em movimento contínuo. Os estudos de Gambarini *et al.* (2013) e Pérez-Higueras *et al.* (2013) com certeza auxiliaram no processo evolutivo dos instrumentos termomecânicos quando evidenciaram que tanto as diferenças 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 (Elgnaghy *et al.*, 2020). 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). Foi afirmado pelo fabricante que os três instrumentos de modelagem proporcionam um formato fino que melhora o desbridamento devido ao maior espaço disponível por este design exclusivo do instrumento. Um único estudo (Elgnaghy *et al.*, 2020) no presente trabalho avaliou os instrumentos TruNatomy. Contudo, faz importante comentar que os resultados semelhantes aos instrumentos HyFlex.

Em relação aos sistemas de instrumentação rotatória e reciprocante, a instrumentação reciprocante demonstrou-se superior na maioria dos estudos quando testado a resistência à fratura (Perez-Higuera *et al.*, 2013; da Frota *et al.*, 2014; Vadhana *et al.*, 2014). A possível explicação se dá pelo acúmulo de raspas de dentina que tencionados perante o instrumental e paredes dos canais radiculares faz com que os instrumentos de rotatório frature (Pinto *et al.*, 2019).

5 CONCLUSÃO

Nossos achados revelam que os instrumentos com tratamento térmico CM-Wire são superiores quando comparada aos demais instrumentos em relação à resistência à fratura. Contudo, mais estudos *in vivo* são necessários.

REFERÊNCIAS

- ADIGÜZEL, M.; CAPAR, I. D. Comparison of cyclic fatigue resistance of WaveOne and WaveOne Gold small, primary, and large instruments. **Journal of Endodontics**, v. 43, n. 4, p. 623–627, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.11.021>. Acesso em: 21 set. 2023.
- ALCALDE, M. P.; TANOMARU-FILHO, M.; BRAMANTE, C. M.; DUARTE, M. A. H.; GUERREIRO TANOMARU, J. M.; CAMILO-PINTO, J.; SÓ, M. V. R.; VIVAN, R. R. Cyclic and torsional fatigue resistance of reciprocating single files manufactured by different nickel-titanium alloys. **Journal of Endodontics**, v. 43, n. 7, p. 1186–1191, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.03.008>. Acesso em: 29 mar. 2023.
- BRAGA, L. C.; SILVA, F. A. C.; BUONO, V. T.; BAHIA, A. M. G. Impact of heat treatments on the fatigue resistance of different rotary nickel-titanium instruments. **Journal of Endodontics**, v. 40, n. 9, p. 1494–1497, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.03.007>. Acesso em: 23 out. 2023.
- CAPAR I, D.; ERTAS, H.; ARSLAN, H. Comparison of cyclic fatigue resistance of nickel-titanium coronal flaring instruments. **J Endod**, v. 40, n. 8, p. 1182-5, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.12.031>. Acesso em: 17 out. 2023.
- CAPAR, I. D.; ERTAS, H.; ARSLAN, H. Comparison of cyclic fatigue resistance of novel nickel-titanium rotary instruments. **Aust Endod J**, v. 41, n. 1, p. 24-8, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/aej.12067>. Acesso em: 3 set. 2023.
- CHI, C.W.; LI, C.C.; LIN, C. P.; SHIN, C. S.; Cyclic fatigue behavior of nickel-titanium dental rotary files in clinical simulated root canals. **J Formos Med Assoc**. v. 116, n. 4, p. 306-312, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2016.06.002> Acesso em: 9 out. 2023.

DA FROTA, M. F.; ESPIR, C. G.; BERBET, F. L.; MARQUES, A.A.; SPONCHIADO-JUNIOR, E. C.; TANOMARU-FILHO, M.; GARCIA, L. F.; BONETTI-FILHO, I. Comparison of cyclic fatigue and torsional resistance in reciprocating single-file systems and continuous rotary instrumentation systems. **J Oral Sci.** v. 56, n. 4, p. 269-75, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.2334/josnurd.56.269>. Acesso em: 27 ago. 2023.

ELNAGHY, A. M.; ELSAKA, S. E.; MANDORAH, A. O. 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.** v. 20, n. 1, p. 38, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12903-020-1027-7>. Acesso em: 17 set. 2023.

GAMBARINI, G.; GALLI, M.; DI NARDO, D.; SERACCHINI, M.; DONFRANCESCO, O.; TESTARELLI, L. Differences in cyclic fatigue lifespan between two different heat treated NiTi endodontic rotary instruments: Wave One Gold vs EdgeOne Fire. **Journal of Clinical and Experimental Dentistry**, v. 11, n. 7, p. e609–e613, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4317/jced.55839>. Acesso em: 23 mar. 2023.

GAMBARINI, G.; GERGI, R.; GRANDE, N. M.; OSTA, N.; PLOTINO, G.; TESTARELLI, L. Cyclic fatigue resistance of newly manufactured rotary nickel titanium instruments used in different rotational directions. **Aust Endod J**, v. 39, n. 3, p. 151-4, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1747-4477.2012.00353>. Acesso em: 19 out. 2023.

GAMBARINI, G.; PLOTINO, G.; SANNINO, G.; GRANDE, N. M.; GIANIRACUSA, A.; PIASCEKI, L.; DA SILVA, N. U. X.; AL-SUDANI, D.; TESTARELLI, L. Cyclic fatigue of instruments for endodontic glide path. **Odontology**, v. 103, n. 1, p. 56-60, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10266-013-0138-x>. Acesso em: 12 nov. 2023.

HOU, X. M.; YANG, Y. J.; QIAN, J. Phase transformation behaviors and mechanical properties of NiTi endodontic files after gold heat treatment and blue heat treatment. **Journal of Oral Science**, v. 63, n. 1, p. 8–13, 2020. Disponível em <https://doi.org/10.2334/josnurd.19-0331>. Acesso em: 23 mar. 2023.

KARAMIFAR, K.; TONDARI, A.; SAGHIRI, M. A. Endodontic Periapical Lesion: An Overview on the Etiology, Diagnosis and Current Treatment Modalities. **European Endodontic Journal**, v. 5, n. 2, p. 54–67, 2020,. Disponível em: <https://doi.org/10.14744/eej.2020.42714>. Acesso em: 11 set. 2023.

ÖZYÜREK, T.; USLU, G.; GÜNDOĞAR, M.; YILMAZ, K.; GRANDE, N.M.; PLOTINO, G. Comparison of cyclic fatigue resistance and bending properties of two reciprocating nickel-titanium glide path files. **Int Endod J**, v. 51, n. 9, p. 1047-1052, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/iej.12911>. Acesso em: 2 nov. 2023.

PAGE, M. J.; MCKENZIE, J. E.; BOSSUYT, P. M.; BOUTRON, I.; HOFFMANN, T. C. MULROW, C. D.; SHAMSEER, L.; TETZLAFF, J. M.; AKL, E. A.; BRENNAN, S. E.; CHOU, R.; GLANVILLE, J.; GRIMSHAW, J. M.; HRÓBJARTSSON, A.; LALU, M. M.; LI, T.; LODER, E. W.; MAYO-WILSON, E.; MCDONALD, S.; MCGUINNESS, L. A.; STEWART, L. A.; THOMAS, J.; TRICCO, A. C.; WELCH, V. A.; WHITING, P.; MOHER, D. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 29, n. 372, p. 71, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33782057/>. Acesso em: 10 de novembro de 2023.

PEREIRA, E. S.; PEIXOTO, I. F.; VIANA, A. C.; OLIVEIRA, I. I.; GONZALEZ, B.M.; BUONO, V. T.; BAHIA, M. G. Physical and mechanical properties of a thermomechanically treated NiTi wire used in the manufacture of rotary endodontic instruments. **International Endodontic Journal**, v. 45, n. 5, p. 469–474, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01998.x>. Acesso em: 23 out. 2023.

PÉREZ-HIGUERAS, J. J.; ARIAS, A.; MACORRA, J. C. Cyclic fatigue resistance of K3, K3XF, and twisted file nickel-titanium files under continuous rotation or reciprocating motion. **J Endod**, v. 39, n. 12, p. 1585-8, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.07.020>. Acesso em: 14 nov. 2023.

PÉREZ-HIGUERAS, J. J.; ARIAS, A.; MACORRA, J. C. de L. A.; PETERS, O. A. Differences in cyclic fatigue resistance between ProTaper Next and ProTaper Universal instruments at different levels. **Journal of Endodontics**, v. 40, n. 9, p. 1477–1481, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.02.025>. Acesso em: 29 ago. 2023.

PINTO, J. C.; PIVOTO, J. M. M. B.; ESPIR, C. G.; RAMOS, M. L. G.; GUERREIRO-TANOMARU, J.M.; TANOMARU-FILHO, M. Micro-CT evaluation of apical enlargement of molar root canals using rotary or reciprocating heat-treated NiTi instruments. **Journal of Applied Oral Science**, v. 27, p. e20180689, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2018-0689>. Acesso em: 23 mar. 2023.

PLOTINO, G.; GRANDE, N. M.; COTTI, E.; TESTARELLI, L.; GAMBARINI, G. Blue treatment enhances cyclic fatigue resistance of vortex nickel-titanium rotary files. **Journal of Endodontics**, v. 40, p. 9, p. 1451–1453, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.02.020>. Acesso em: 23 out. 2023.

TABASSUM, S.; ZAFAR, K.; UMER, F. Nickel-Titanium Rotary File Systems: What's New?. **European Endodontic Journal**, v. 4, n. 3, p. 111–117, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.14744/eej.2019.80664>. Acesso em: 23 mar. 2023.

TANOMARU-FILHO, M.; ESPIR, G. C.; VENÇÃO, C. A.; MACEDO, N.; PINTO, C. J.; GUERREIRO -TANOMARU, J. Cyclic Fatigue Resistance of Heat-Treated Nickel-Titanium Instruments. **Iranian Endodontic Journal**, v. 13, n. 3, p. 312–317, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.22037/iej.v13i3.18637>. Acesso em: 23 mar. 2023.

TOPÇUOĞLU, H. S.; TOPÇUOĞLU, G.; AKTI, A. Comparative evaluation of cyclic fatigue resistance of D-RaCe and ProTaper retreatment instruments in curved artificial canals. **International Endodontic Journal**, v. 49, n. 6, p. 604–609, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/iej.12488>. Acesso em: 16 set. 2023.

TOPÇUOĞLU, H. S.; TOPÇUOĞLU, G.; KAFDAG, Ö.; ARSLAN, H. Cyclic fatigue resistance of new reciprocating glide path files in 45- and 60-degree curved canals. **Int Endod J**, 51, n. 9, p. 1053-1058, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/iej.12915>. Acesso em: 16 set. 2023.

VADHANA, S.; SARAYANAKARTHIKEYAN, B.; NANDINI, S.; VELMURUGAN, N. Cyclic fatigue resistance of RaCe and Mtwo rotary files in continuous rotation and reciprocating motion. **J Endod**, v. 40, n. 7, p. 995-9, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.12.010>. Acesso em: 17 out. 2023.

ZUPANC, J.; VAHDAT-PAJOUH, N.; SCHAFËR, E. New thermomechanically treated NiTi alloys - a review. **International ENDODONTIC JOURNAL**, v. 51, n. 10, p. 1088–1103. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/iej.12924>. Acesso em: 23 mar. 2023.