

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

LUANA HECK

**EFEITO DO RESFRIAMENTO COM GÁS REFRIGERANTE NA FADIGA
CÍCLICA DE DOIS INSTRUMENTOS DE NÍQUEL-TITÂNIO TRATADOS
TERMICAMENTE**

Porto Alegre

2021

LUANA HECK

EFEITO DO RESFRIAMENTO COM GÁS REFRIGERANTE NA FADIGA
CÍCLICA DE DOIS INSTRUMENTOS DE NÍQUEL-TITÂNIO TRATADOS
TERMICAMENTE

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

Linha de Pesquisa: Biomateriais e Técnicas Terapêutica em Odontologia

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinícius Reis Só

Porto Alegre

2021

CIP - Catalogação na Publicação

Heck, Luana
Efeito do resfriamento com gás refrigerante na
fadiga cíclica de dois instrumentos de níquel-titânio
tratados termicamente / Luana Heck. -- 2021.
43 f.
Orientador: Marcus Vinicius Reis Só.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Odontologia, Programa
de Pós-Graduação em Odontologia, Porto Alegre, BR-RS,
2021.

1. Endodontia. 2. Níquel-titânio. 3. Instrumentos
endodônticos. 4. Resfriamento de ligas. I. Só, Marcus
Vinicius Reis, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, **Sonia Helena Heck e José Henrique Heck** por serem meus alicerces na busca pelo conhecimento, vocês são o motivo de eu sempre querer dar o meu melhor.

Ao meu orientador e maior incentivador **Prof. Dr. Marcus Vinicius Reis Só**. Muito obrigada por toda tua dedicação, ensinamentos, acolhimento e amizade.

Aos **professores de Endodontia** por me receberem tão bem e por todo apoio na construção da minha carreira.

Aos meus colegas **Renata, Theodoro, Marieli, Angélica, Natália, Maurício, Patrícia, Mariana, Marina, Alexander, Carolina, Pedro** e todos os amigos maravilhosos que a Endodontia me deu, vocês fizeram a minha jornada na UFRGS muito mais leve, sem vocês nada faria sentido.

Ao **Prof. Dr. Murilo Priori Alcalde**, ao **Prof. Dr. Rodrigo Ricci Vivan**, ao **Prof. Dr. Marco Antonio Hungaro Duarte**, ao **Prof. Dr. Renan Diego Furlan** e ao colega **Pedro Calefi** por todo apoio e oportunidade de realizar esta pesquisa na **USP-Bauru**.

Ao meu namorado **Augusto De Gasperi**, a quem sempre me motivou a buscar conhecimento e acreditou no meu potencial.

Ao **Programa de Pós-graduação em Odontologia** da UFRGS pela oportunidade de realizar uma pós-graduação em um curso tão renomado.

À **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, em especial a **Faculdade de Odontologia**, por me permitir realizar um sonho.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal e profissional, minha eterna gratidão.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 Instrumentos de Níquel-Titânio | 10 |
| 1.2 Fases da liga | 10 |
| 1.3 Tratamentos das ligas de Níquel-Titânio | 11 |
| 1.4 Tipos de fratura | 13 |
| 1.5 A utilização de diferentes temperaturas afetando o desempenho | 14 |
| 1.6 Capacidade flexural | 16 |
| 1.7 Instrumentos testados | 16 |
| 2. OBJETIVOS | 18 |
| 2.1 Objetivo geral | 18 |
| 2.2 Objetivos específicos | 18 |
| 3. ARTIGO CIENTÍFICO | 19 |
| 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 35 |
| REFERÊNCIAS | 37 |
| ANEXO – Aprovação da Comissão Científica e Ética (COMPESQ) da Faculdade de Odontologia da UFRGS | 43 |

RESUMO

Objetivo: O objetivo deste estudo foi avaliar a resistência à fadiga cíclica dos instrumentos WaveOne Gold (WOG) e X1 Blue File (X1B) testados na temperatura corporal e submetidos ou não ao resfriamento. **Metodologia:** Para avaliação 20 instrumentos de cada sistema foram selecionados (n=40) e divididos em dois grupos: TC, temperatura corporal ($37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) e TCR, temperatura corporal com resfriamento. Os instrumentos foram ativados até a fratura em um canal simulado de aço com 60° de curvatura e raio de 5mm. Os instrumentos do grupo TCR foram submetidos a um gás refrigerante durante 5 segundos a cada 30 segundos de uso. O tempo de fratura foi registrado. As superfícies dos instrumentos fraturados foram examinadas por microscopia eletrônica de varredura. Dez instrumentos de cada sistema foram usados no teste de flexão. A análise estatística foi realizada pelo teste t de Student com nível de significância de 5%. **Resultados:** O instrumento WOG teve significativamente menor resistência à fadiga em comparação com o instrumento X1B no grupo TC ($P = 0,00001$) e no grupo TCR ($P = 0,0001$). Foi observado um aumento significativo de resistência em instrumentos X1B ($P = 0,0003$) e WOG ($P = 0,0003$) quando o spray de resfriamento foi aplicado. O aumento da resistência à fadiga cíclica dos instrumentos após o resfriamento foi similar ($P > 0,05$). No teste de flexão os instrumentos testados não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($P > 0,05$). Ambos instrumentos mostraram características típicas de comportamento de fadiga cíclica a luz da microscopia eletrônica de varredura. **Conclusões:** O resfriamento ampliou a resistência à fadiga cíclica de ambos instrumentos. Os instrumentos X1B apresentaram maior resistência à fadiga cíclica do que os instrumentos WOG.

Palavras-Chave: Temperatura corporal. Endodontia. Instrumentos Odontológicos.

ABSTRACT

Introduction: This study aimed to evaluate the resistance to cyclic fatigue of instruments WaveOne Gold (WOG) and X1 Blue File (X1B) tested at body temperature subjected or not to alloy cooling. **Methods:** Twenty instruments of each system (n=40) were selected and divided into two groups: BT, body temperature ($37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$), CBT, body temperature with spray cooling. Instruments were activated until fracture in a simulated stainless steel canal with a 60° angle of curvature and 5mm radius. CBT group instruments were subjected to 5 seconds of cooling at every 30 seconds of work. Time to fracture was recorded. Fractured surfaces were examined under scanning electron microscopy. Ten instruments of each system were used on the bending test. Statistical analysis was performed using the Student t-test at 5% significance level. **Results:** WOG instruments had significantly less fatigue resistance compared to X1B instrument in BT ($P = .00001$) and CBT ($P = .0001$) groups. Significantly increased resistance was observed in X1B instruments ($P = .0003$) and WOG ($P = .0003$) when cooling spray was applied. The increase in resistance to cyclic fatigue of instruments after cooling was similar ($P > .05$). The bending test presented no statistically significant differences between the tested instruments ($P > .05$). Both instruments showed typical features of cyclic fatigue behavior under scanning electron microscopy. **Conclusions:** Cooling spray extended the cyclic fatigue life of both instruments. The X1B instruments presented greater resistance to cyclic fatigue than the WOG instruments.

Keywords: Body temperature. Endodontic. Dental Instruments.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|---------------|--|
| ° | - Graus |
| > | - Maior que |
| < | - Menor que |
| ± | - Mais ou menos |
| % | - Porcentagem |
| °C | - Graus Celsius |
| COMPESQ | - Comissão de Pesquisa |
| <i>et al.</i> | - Et aliae (e outros) |
| ISO | - International Organization for Standardization |
| mm | - Milímetros |
| rpm | - Rotações por minuto |
| SEM | - Scanning electron microscopy (microscopia eletrônica de varredura) |
| NiTi | - Nitinol |
| UFRGS | - Universidade Federal do Rio Grande do Sul |
| USP | - Universidade de São Paulo |
| v. | - Versão |
| WOG | - WaveOne Gold |
| x | - Vezes |
| X1B | - X1 Blue File |

APRESENTAÇÃO

Esta dissertação, de nível mestrado, contém como estrutura principal um artigo científico que está formatado nas normas do *Journal of Endodontics*. Por esse motivo, a dissertação se encontra de acordo com as normas estabelecidas pela revista citada.

Este estudo foi aprovado na Comissão de Pesquisa da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Anexo).

1. INTRODUÇÃO

1.1. Instrumentos de Níquel-Titânio

Instrumentos endodônticos são aparatos empregadas na instrumentação de canais radiculares, fabricados a partir de ligas metálicas de aço inoxidável ou de níquel-titânio (NiTi) (LOPES; SIQUEIRA JR, 2015).

As ligas de NiTi foram introduzidas na fabricação de instrumentos endodônticos em 1988, com o objetivo de facilitar o preparo dos canais radiculares e diminuir intercorrências, por disponibilizarem maior segurança no corte, capacidade de se manter no canal, flexibilidade, baixo módulo de elasticidade e resistência à torção (WALIA; BRANTLEY; GERSTEIN, 1988).

Os instrumentos endodônticos de NiTi, por possuírem maior elasticidade, são deformados elasticamente com níveis inferiores de tensão durante a instrumentação de um canal curvo. Quanto maior a resistência à deformação de um instrumento endodôntico no regime elástico, maior será a força exercida por ele contra a parede dentinária externa da curva de um canal radicular, o que poderá induzir o deslocamento do preparo apical (desvio) de um canal radicular (LOPES; SIQUEIRA JR, 2015).

Entretanto, assim como todas as outras ligas metálicas, a liga de NiTi possui três fases principais: a austenítica, que é uma fase cúbica de corpo centrado, de temperaturas mais altas; a fase-R, que é uma fase intermediária, romboédrica distorcida; e a martensítica, que é uma fase monoclinica, de temperaturas mais baixas (OTSUKA; REN, 1999). Essa transição de austenítica para martensítica (transformação martensítica), e de martensítica para austenítica (transformação austenítica), é induzida por estresse ou por temperatura e influencia na performance dos instrumentos (GIL *et al.*, 2018; ZUPANC; VAHDAT-PAJOUH; SCHÄFER, 2018).

1.2. Fases da liga

A liga de NiTi na fase austenítica, apresenta duas propriedades de maior interesse, a flexibilidade que é a possibilidade de poder dobrar a liga com pouca força, sobretudo com densidade baixa, e a superelasticidade, que é a habilidade

de recuperar a sua forma original quando a força aplicada cessa (JAMLEH *et al.*, 2016).

Para fazer aparecer a fase martensítica é necessário esfriar a liga, neste momento ela perderá a sua característica de superelasticidade, mas não terá a capacidade de recuperar a retidão quando a força aplicada cessar (JAMLEH *et al.*, 2016).

A fase na qual o instrumento se apresenta durante o seu uso clínico promove implicações importantes sobre a sua performance. Instrumentos na fase austenítica, ou de maior proporção dessa fase, têm boa resistência a torção, porém não apresentam bom comportamento flexural (ALMEIDA *et al.*, 2019). Além disso, por conta do efeito de memória de forma, o instrumento possui a tendência de recuperar a sua forma inicial, podendo causar um desgaste excessivo na parede externa da curvatura e gerar possíveis complicações durante o preparo do canal radicular (SHEN *et al.*, 2013).

Por outro lado, instrumentos predominantemente martensíticos possuem baixa resistência torsional (ALMEIDA *et al.*, 2019), maior resistência a fadiga cíclica (PLOTINO *et al.*, 2018) e causam menor transporte do canal, ou seja, não terá mais força de recuperação e não irá forçar a parede externa da curva como o instrumento austenítico, portanto, este jogo de proporção de fases se torna importante (THOMPSON, 2000).

Entre a martensítica e a austenítica, ainda há uma terceira fase, denominada fase-R. Esta fase consiste em uma fase de transição, também caracterizada como uma fase romboédrica distorcida, que se forma durante a transformação de austenita em martensita e vice-versa. Ocorre dentro de uma faixa de temperatura muito estreita (MIYAZAKI; OTSUKA, 1986).

Na tentativa de possibilitar maior segurança no preparo de canais curvos, diferentes tratamentos térmicos foram empregados nas ligas de NiTi, alternando a fase apresentada pelos instrumentos de NiTi e as suas consequentes transformações por estresse ou temperatura. Enquanto a liga de NiTi convencional se apresenta predominantemente austenítica, as ligas tratadas termicamente contêm quantidades variáveis de fase R e martensítica. Essas modificações tornam os instrumentos endodônticos mais flexíveis e com maior resistência à fratura (ZUPANC; VAHDAT-PAJOUH; SCHÄFER, 2018).

1.3 Tratamentos das ligas de Níquel-Titânio

Os fabricantes introduziram tratamento térmico, mecânico e de superfície nas ligas de NiTi para melhorar as propriedades dos instrumentos endodônticos a fim de possibilitar maior resistência à fratura e maior flexibilidade (LOPES *et al.*, 2013; ZUPANC; VAHDAT-PAJOUH; SCHÄFER, 2018).

Em 2007, foi introduzida a liga M Wire (Dentsply), produzida através da aplicação de uma série de tratamentos térmicos (SHEN *et al.*, 2013). Essa liga apresenta altas quantidades de fase austenítica que permite um aumento da resistência à fadiga cíclica e, ao mesmo tempo, contém pequenas fases de martensíticas e fase-R, melhorando a flexibilidade quando comparada a liga de NiTi convencional (ZUPANC; VAHDAT-PAJOUH; SCHÄFER, 2018).

Em 2008, foi desenvolvido um novo processo de fabricação chamado de Fase R (SybronEndo), feito da transformação de um fio bruto de NiTi da fase austenita em fase R, por diversos processos térmicos (SHEN *et al.*, 2013).

Em 2010, foi introduzido no mercado a liga CM Wire (Coltene), fabricada usando um processo térmico especial que controla a memória do material, tornando os instrumentos extremamente flexíveis, mas sem a memória de forma de outros instrumentos de NiTi (SHEN *et al.*, 2013).

A liga Blue Wire (VDW) foi inserida no mercado em 2011, com uma metalurgia avançada patenteada através da tecnologia de tratamento térmico que resulta em uma camada de óxido de titânio visível na superfície do instrumento, melhorando suas propriedades mecânicas e performance dos instrumentos (DE-DEUS *et al.*, 2017). Esta liga está na fase martensítica durante o uso clínico; o material é macio, dúctil e pode ser facilmente pré-curvado (SHEN *et al.*, 2013).

Em 2015, é lançado o sistema Gold Wire (Dentsply). Sua liga de NiTi possui um novo tratamento térmico, pós-fabricação do instrumento, que lhe dá maior flexibilidade e resistência em relação aos antigos sistemas M-wire (ELSAKA; ELNAGHY; BADR, 2017).

Em 2016, surge a liga Max Wire (FKG), a primeira liga de NiTi endodôntica que combina efeito de memória de forma e superelasticidade em aplicações clínicas. Estes instrumentos exibem memória de forma quando inseridos no

canal e possuem superelasticidade durante o preparo (ZUPANC; VAHDAT-PAJOUH; SCHÄFER, 2018).

Recentemente foi introduzida a liga CM Wire EDM (Coltene), o seu processo de fabricação se dá por eletroerosão e cria uma superfície única fazendo com que estes instrumentos sejam mais duros e resistam mais à fratura (SHEN *et al.*, 2017).

Entretanto, embora diferentes tratamentos térmicos venham sendo empregados nos instrumentos de NiTi, os mesmos ainda estão sujeitos a diferentes tipos de fratura que podem levar a um insucesso do tratamento, principalmente em casos onde existe a presença de infecção.

Essa fratura ocorre sem quaisquer sinais visíveis de deformação anterior, aparentemente dentro do limite elástico do instrumento. Portanto, a inspeção visível não é um método confiável para avaliação de instrumentos de NiTi usados (PRUETT; CLEMENT; CARNES, 1997).

O tratamento térmico da liga de NiTi permite, em condições clínicas, uma mudança de fase, levando ao aparecimento de martensita ou fase R durante o uso dos instrumentos (ZUPANC; VAHDAT-PAJOUH; SCHÄFER, 2018).

1.4 Tipos de fratura

A fratura é a falha mais comum durante o uso clínico dos instrumentos mecanizados de NiTi (PARASHOS; MESSER, 2006), podendo comprometer o controle microbiano e conseqüentemente impactar no prognóstico do tratamento (PANITVISAI *et al.*, 2010).

A fratura de um instrumento de NiTi pode ocorrer de duas formas: por torção ou fadiga cíclica. A fratura por torção ocorre quando a ponta ou qualquer parte do instrumento é travada no canal enquanto a haste continua girando; o instrumento excede o limite elástico do metal e apresenta deformação plástica seguida de fratura. Já a fratura por fadiga cíclica é causada no ponto de curvatura, o instrumento gira livremente em um canal curvo, gerando ciclos de tensão e compressão, até exceder o limite da sua resistência flexural e fraturar (PRUETT; CLEMENT; CARNES, 1997; SATTAPAN *et al.*, 2000). A repetição destes ciclos diminui a vida útil dos instrumentos, sendo um fator que deve ser considerado clinicamente (PARASHOS; GORDON; MESSER, 2004).

Em geral, acredita-se que a fadiga cíclica seja um fator importante na fratura do instrumento de NiTi, motivo de estudos compararem a resistência a fadiga cíclica de diversos tipos de liga de NiTi. Como as ligas de NiTi possuem fases que modificam com a temperatura e os instrumentos endodônticos trabalham em temperatura corporal, nos últimos seis anos pesquisas foram conduzidas em diferentes temperaturas, demonstrando que a temperatura possui um efeito significativo na fadiga cíclica de diferentes instrumentos endodônticos de NiTi.

1.5A utilização de diferentes temperaturas afetando o desempenho

Por receberem influência da temperatura, os testes devem ser realizados em temperaturas próximas da apresentada pelo corpo humano ($36^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$), simulando uma condição próxima daquela encontrada durante a prática clínica (KLYMUS *et al.*, 2019). Poucos são os estudos que avaliaram a resistência à fadiga cíclica de instrumentos de NiTi nestas condições.

Jamleh *et al.* (2016) testaram a fadiga cíclica e a carga de deflexão de instrumentos de NiTi em um ângulo de 30° e 10mm de raio de curvatura. Nesse estudo, o instrumento recebia um fluxo contínuo de água nas temperaturas de 10°C , 37°C ou 50°C . O grupo a 10°C teve significativamente o maior tempo de fratura. A temperatura ambiente influenciou a resistência à fadiga cíclica e a carga de deflexão dos instrumentos superelásticos de NiTi. Assim, foi descoberto que o resfriamento diminui favoravelmente a carga de deflexão e estendem a vida útil do instrumento de NiTi.

De Vasconcelos *et al.* (2016) avaliaram o efeito de duas temperaturas (20°C e 37°C) na fadiga cíclica dos instrumentos rotatórios Hyflex CM (Coltene), TRUShape (Dentsply), Vortex Blue (Dentsply) e ProTaper Universal (Dentsply). A imersão em água simulando a temperatura corporal estava associada a uma diminuição acentuada da resistência a fadiga cíclica dos instrumentos testados, em até 85%.

Em 2017, Dosanjh, Paurazas e Askar avaliaram o efeito de diferentes temperaturas na fadiga cíclica dos instrumentos Edge File (EdgeEndo), Vortex Blue (Dentsply Tulsa Dental Specialties), e ESX (Brasseler). O teste foi realizado em um bloco de metal com curvatura simulada de 60° e raio de curvatura de

5mm. O bloco foi submerso em água a 3°C, 22°C, 37°C e 60°C. Todos os instrumentos tiveram maior tempo de fratura em temperaturas de 3°C e 22°C. Como resultado, a temperatura afetou significativamente a fadiga cíclica de instrumentos rotatórios de NiTi, indicando a condução de estudos de fadiga cíclica em temperatura corporal.

Grande *et al.* (2017) avaliaram o efeito das temperaturas de -20°C e 20°C na fadiga cíclica dos instrumentos ProTaper Universal (Dentsply), ProTaper Gold (Dentsply), Twisted Files (SybronEndo), Mtwo (VDW) e Vortex Blue (Dentsply). Os valores médios de número de ciclos até a fratura foram significativamente maiores no grupo -20°C do que no grupo a 20°C em todos os sistemas testados. O aumento da resistência a fadiga cíclica variou de 274% a 854%.

Também em 2017, Plotino *et al.*, avaliando a ProTaper Universal e a ProTaper Gold na temperatura ambiente (20°C) e na temperatura intracanal (35°C), não obtiveram diferenças estatisticamente significativas entre as temperaturas dos instrumentos ProTaper Gold, enquanto que os instrumentos ProTaper Universal demonstraram uma redução significativa na resistência à fadiga cíclica na temperatura intracanal comparada a temperatura ambiente.

Shen *et al.* (2018) avaliaram o efeito das temperaturas 0°C, 10°C, 22°C, 37°C e 60°C na fadiga cíclica dos instrumentos de NiTi convencionais: EndoSequence (Brasseler), ProFile (Dentsply), K3 (SybronEndo); e de 3 instrumentos de NiTi tratados termicamente: K3XF (SybronEndo), Vortex (Dentsply), e HyFlex CM (Coltene). Os autores demonstraram que o resfriamento pode ser uma estratégia interessante para melhorar a resistência a fadiga cíclica de instrumentos rotatórios de NiTi.

Arias *et al.* (2019) avaliaram a resistência a fadiga cíclica dos instrumentos NiTi Vortex Blue (Dentsply) e EdgeSequel Sapphire (EdgeEndo) em temperatura ambiente e na temperatura corporal. A temperatura teve um efeito significativo no comportamento de fadiga. Todos os instrumentos duraram significativamente mais na temperatura ambiente do que na temperatura corporal.

Klymus *et al.* (2019) testaram o efeito da temperatura de 20°C e 37°C na fadiga cíclica dos instrumentos Reciproc Blue R25 (VDW), X1 Blue File (MK Life) e WaveOne Gold Primary (Dentsply Maillefer). O teste foi realizado em um bloco de metal com curvatura simulada de 60° e raio de curvatura de 5mm. A 37°C

todos os grupos apresentaram uma redução significativa no tempo e no número de ciclos para fratura quando comparados a temperatura de 20°C.

Em um estudo que utilizou 4 temperaturas diferentes no teste de fadiga cíclica foi demonstrado que a resistência à fadiga foi proporcionalmente maior à medida que a temperatura ambiente diminuiu. Ou seja, a temperatura afeta significativamente a vida útil dos instrumentos de NiTi. Quando a temperatura ambiente aumentou entre 0°C e 35°C, a resistência à fadiga dos instrumentos de NiTi diminuiu estatisticamente (PLOTINO *et al.*, 2018).

Clinicamente, os instrumentos endodônticos são usados para preparar o canal radicular na presença de uma solução irrigante. Estudos publicados mostram que aumentar a temperatura do hipoclorito de sódio também diminui a resistência a fadiga cíclica dos instrumentos endodônticos (ALFAWAZ *et al.*, 2018; KELES *et al.*, 2019).

1.6 Capacidade flexural

A capacidade flexural de um instrumento de NiTi está relacionada com a utilização dos instrumentos em canais curvos. O instrumento com maior flexibilidade, clinicamente, possui a capacidade de causar menores alterações na morfologia da curvatura do canal quando comparado a aqueles com menor flexibilidade (SCHÄFER; DZEPINA; DANESH, 2003).

A verificação da capacidade flexural de um instrumento segue as especificações da ISO 3630-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, [s.d.]).

Neste teste, a flexibilidade é determinada pela fixação dos 3mm da ponta do instrumento, e pela aplicação e medição de uma força até se obter uma angulação de 45°. No presente estudo, os seguintes instrumentos foram avaliados.

1.7 Instrumentos testados

A lima WaveOne Gold (Dentsply Sirona, Ballaigues, Switzerland) é um sistema que de acordo com o fabricante, possui 4 instrumentos recíprocos: Small #20.07, Primary #25.07, Medium #35.06 e Large #45.06. Estas limas

possuem secção transversal em formato de paralelogramo, são de uso único e podem ser ligeiramente curvadas antes do uso.

A lima X1 Blue File (MK Life, Porto Alegre, Brasil) é um sistema composto por três instrumentos reciprocantes. De acordo com o fabricante, o sistema possui três instrumentos com diferentes diâmetros de ponta e conicidades variáveis: #20.06 é ideal para o quarto canal, #25.06 indicado para a maioria dos casos e, #40.06 ideal para o canal palatino de molares superiores. O sistema possui tratamento térmico de superfície BLUE com controle de memória (CM). Podem ser utilizados como lima única ou em sequência de três. Possuem secção transversal triangular, ponta inativa, taper 06 e 25mm.

Para esse estudo, foram selecionados apenas os instrumentos correspondentes ao diâmetro #25 de cada sistema, por serem aqueles que possuem maior atuação nas zonas de curvatura dos canais.

Como visto, diversos estudos vêm demonstrando que a redução da temperatura aumenta a resistência a fadiga cíclica dos instrumentos de NiTi. Com o intuito de testar uma metodologia que se aproxima do dia a dia clínico e aumenta a resistência a fadiga cíclica destes instrumentos, esse estudo teve por objetivo avaliar o efeito do uso do gás refrigerante em instrumentos de NiTi tratados termicamente durante os testes de fadiga cíclica em temperatura corporal.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar se o resfriamento das ligas de NiTi impacta nos resultados de fadiga cíclica dos instrumentos.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar se o resfriamento da superfície dos instrumentos de NiTi WaveOne Gold 25.07 e X1 Blue File 25.06, com gás refrigerante promoverão alterações na fadiga cíclica desses instrumentos, quando comparados a temperatura corporal.

Investigar a capacidade flexural dos instrumentos WaveOne Gold 25.07 e X1 Blue File 25.06.

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

3. ARTIGO CIENTÍFICO

L. Heck¹, T. Weissheimer¹, P. H. S. Calefi², R. R. Vivan², R. A. Rosa¹, M. A. H. Duarte², M. V. R. Só¹. Effects of cooling spray on the cyclic fatigue of heat-treated nickel-titanium instruments. (Formatted according to the rules of the Journal of Endodontics).

Effects of cooling spray on the cyclic fatigue of heat-treated nickel-titanium instruments.

L. Heck¹, T. Weissheimer¹, P. H. S. Calefi², R. R. Vivan², R. A. Rosa¹, M. A. H. Duarte², M. V. R. Só¹.

Abstract

Introduction: This study aimed to evaluate the resistance to cyclic fatigue of WaveOne Gold (WOG), and X1 Blue File (X1B) tested at body temperature subjected or not to alloy cooling. **Methods:** Twenty instruments of each system (n=40) were selected and divided into two groups: BT, body temperature (37 °C ± 1 °C), CBT, body temperature with spray cooling. Instruments were activated until fracture in a simulated stainless-steel canal with a 60° angle of curvature and 5mm radius. CBT group instruments were subjected to 5 seconds of cooling at every 30 seconds. Time to fracture was recorded. Fractured surfaces were examined under scanning electron microscopy. Ten instruments of each system were used on the bending test. Statistical analysis was performed using the Student t-test at 5% significance level. **Results:** WOG instruments had significantly less fatigue resistance compared to X1B instrument in BT (P = .00001) and CBT (P = .0001) groups. Significantly increased resistance was observed in X1B instruments (P = .0003) and WOG (P = .0003) when cooling spray was applied. There were no significant differences between the values of resistance increase presented by the instruments after cooling (P > .05). The bending test presented no statistically significant differences between the tested instruments (P > .05). Both instruments showed typical features of cyclic fatigue behavior under scanning electron microscopy. **Conclusions:** Cooling spray extended the cyclic fatigue life of both instruments. The X1B instruments presented greater resistance to cyclic fatigue than the WaveOne Gold instruments.

Keywords - Body temperature, cold temperature, cyclic fatigue resistance, heat-treated file, nickel-titanium alloys

Authors:

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

² Department of Restorative Dentistry, Dental Materials and Endodontics, University of São Paulo, Bauru, São Paulo, Brazil

Introduction

The fracture of the endodontic instrument mainly occurs during the preparation of curved and constricted root canals (1–3). However, despite having better mechanical properties when compared to stainless steel files, nickel-titanium (NiTi) instruments can fracture through torsional stress and cyclic fatigue. The latter mainly occurs in curved canals when the instrument is subjected to repetitive tension and compression cycles at the point of maximum flexure (3), occurring unexpectedly and not presenting deformation before the fracture (4).

In order to enhance mechanical properties, over the last decade, improvements have been proposed by manufacturers with the intent of providing high safety and efficiency of these instruments to clinicians (5). Technologies such as memory control, heat treatment of the alloy, and alternative kinematics seek to increase resistance to cyclic fatigue and file deformation capacity (6–11).

The heat treatment of NiTi alloys is performed through temperature variations during the manufacturing process of the endodontic instrument, achieving a different microstructural arrangement and promoting greater flexibility of the instrument (5,12,13). Studies have demonstrated that these temperature changes through which the instrument is subjected significantly improve its flexibility and resistance to cyclic fatigue, while body temperature drastically reduces resistance (6,14–22).

Recently, it has been found that a decrease in the instrument temperature affects its properties, proportionally increasing the resistance to cyclic fatigue as the temperature of the alloy decreases (14,17,20,21). To date, studies that have used the methodology of instrument cooling to assess cyclic fatigue have been carried out at room temperature or in liquids. However, with the knowledge that body temperatures influence the endodontic treatment, it is necessary to account for this factor so that the results are clinically relevant.

Therefore, the purpose of this study was to evaluate the resistance to cyclic fatigue of two heat-treated reciprocating NiTi instruments: WaveOne Gold (WOG) 25.07 (Dentsply Sirona, Ballaigues, Switzerland) and X1 Blue File (X1B) 25.06 (MK Life Medical and Dental Products, Porto Alegre, Brazil) when tested at body temperature with and without alloy cooling. The null hypothesis of the

study is that there is no difference in resistance of cyclic fatigue between the tested instruments when subjected or not to alloy cooling.

Materials and Methods

Sample size and selection

The sample calculation was performed using G*Power v3.1 for Mac (Heinrich Heine, Universität Düsseldorf) by selecting the Student t-test. The data obtained in a previous study (6) was used, and the effect size in the present study was established ($=1.70$). An alpha type error of .05 and a beta power of .95 are also stipulated. A total of 9 samples per group was indicated as the ideal size required for observing significant differences.

A total of 40 NiTi instruments were tested in two separate groups: BT, tested at body temperature ($37\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$); and CBT, also tested at body temperature ($37\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) but cooled with spray (Endo Ice, Maquira, Maringá, Brazil) for 5 seconds on the file surface after every 30 seconds working. The manufacturers commercialize all instruments in sterile blister packs; therefore, the instruments were not submitted to the autoclave sterilization process before the mechanical tests. All instruments were inspected under a stereomicroscope (Carl Zeiss, LLC, USA) at x16 magnification to detect possible defects or deformities before the mechanical testing; none were discarded.

Cyclic Fatigue Test

The cyclic fatigue testing device consists of a structure to which is connected an electrical handpiece and a stainless-steel block containing the artificial canals. The electrical handpiece was mounted on a mobile device to allow precise and reproducible placement of each instrument inside the artificial canal. This stability ensured that the three-dimensional alignment and positioning of the instrument were at the same depth for all tested instruments. The artificial canal was manufactured to reproduce the size and taper of the instrument, providing an adequate trajectory following the chosen curvature parameters. A simulated root canal with a 60° angle of curvature and a 5mm radius of curvature

was used for both instruments tested. The center of the curvature was 5mm from the tip of the instrument (6). The canal's curved segment was approximately 5mm in length (6).

The instruments were tested for cyclic fatigue at body temperature ($37^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$) using a heated water bath and were kept warm by an aquarium thermostat. A digital aquarium thermometer (Aleas, Guangdong, China) controlled the water temperature. The instruments were operated by using a 6:1 reduction handpiece (Sirona Dental Systems, GmbH, Bensheim, Germany) powered by an endodontic motor (Silver Reciproc, VDW, Munich, Germany) set in "WaveOne All" program. In the CBT group, after every 30 seconds of usage, the device was turned off and removed from the water for application of cooling spray during 5 seconds directly at the tip of the file, then, the device was immediately re-inserted into the and turned back on. The timer was paused during cooling and started again when the handpiece was activated.

All instruments were activated until the fracture occurred. The time to fracture was recorded in seconds as soon as the fracture was visually or audibly detected using a 1/100- second chronometer.

Bending Resistance Test

This test was performed using a torsion machine (Analógica, Belo Horizonte, Brazil) adapted to the ISO 3630-1 specifications. A total of 10 instruments of each manufacturer were used to assess the flexibility and maximum force required to bend the files at 45° angular deflection.

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

Scanning Electron Microscopy Evaluation

Three fractured instruments of each group were examined under a scanning electron microscope (SEM) to determine the topographic features of the fractured surface of the instruments submitted to cyclic fatigue. Before SEM

evaluation, the instruments were ultrasonically cleaned in a saline solution for 3 minutes. Instruments were examined at $\times 100$, $\times 150$, or $\times 200$ magnification.

Statistical Analysis

The mean values and standard deviations of time to fracture were calculated for each system, and the data subjected to the Student t-test with the significance defined at the confidence level of 95%.

Results

The mean values and standard deviations of the time to fracture at body temperature with and without cooling are shown in Table 1. The WOG instrument had significantly lower time to fracture than the X1B instrument in the BT group ($P = .00001$), as well as in the CBT group ($P = .0001$). The group without cooling had significantly less resistance to fatigue in the X1B group ($P = .0003$) and in the WOG group ($P < .0001$).

Table 1. Time to Fracture (TTF) in Seconds of the Two Groups of Instruments Subjected to Cyclic Fatigue Test

| | Intracanal Temperature | Intracanal temperature with cooled file |
|-------------------|-------------------------------|--|
| Instrument | TTF | TTF |
| X1B | 204.78 ^{aA} (91,8) | 467.70 ^{aB} (159.78) |
| WOG | 109.02 ^{bA} (21.38) | 214.08 ^{bB} (34.96) |

Footnote:

Mean \pm standard deviation.

Different superscript lowercase letters in columns represent significant differences among the instruments ($P < .05$).

Different superscript uppercase letters in rows represent significant differences of the instruments in different temperatures ($P < .05$).

Table 2 shows the median and values of the 25th and 75th percentiles of resistance increase after cooling for both instruments. Table 2 also contains the

mean and standard deviation of the bending test in gm of both instruments. There were no statistical differences in the resistance values among groups ($P > .05$). The bending test showed that there were no differences between the instruments tested ($P > .05$).

Table 2. Values of Resistance Increase (%) after Cooling and Bending (N/cm)

| | | X1 | | WOG | P | |
|-----------------------------------|---------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------|
| Percentage of resistance increase | Median | 127.5% | | 92.15% | .5787 | |
| | Percentile 25 | 13.58% | | 65.70% | | |
| | Percentile 75 | 289.8% | | 134.8% | | |
| Bending | | Mean | SD | Mean | SD | .6729 |
| | | 1.33 | 0.24 | 1.37 | 0.15 | |

Footnote:

SD, standard deviation

The fracture surfaces at different temperatures observed by SEM showed typical characteristics of cyclic fatigue, including signs of cracks, fatigue striations, and a dimpled fracture zone (Fig. 1).

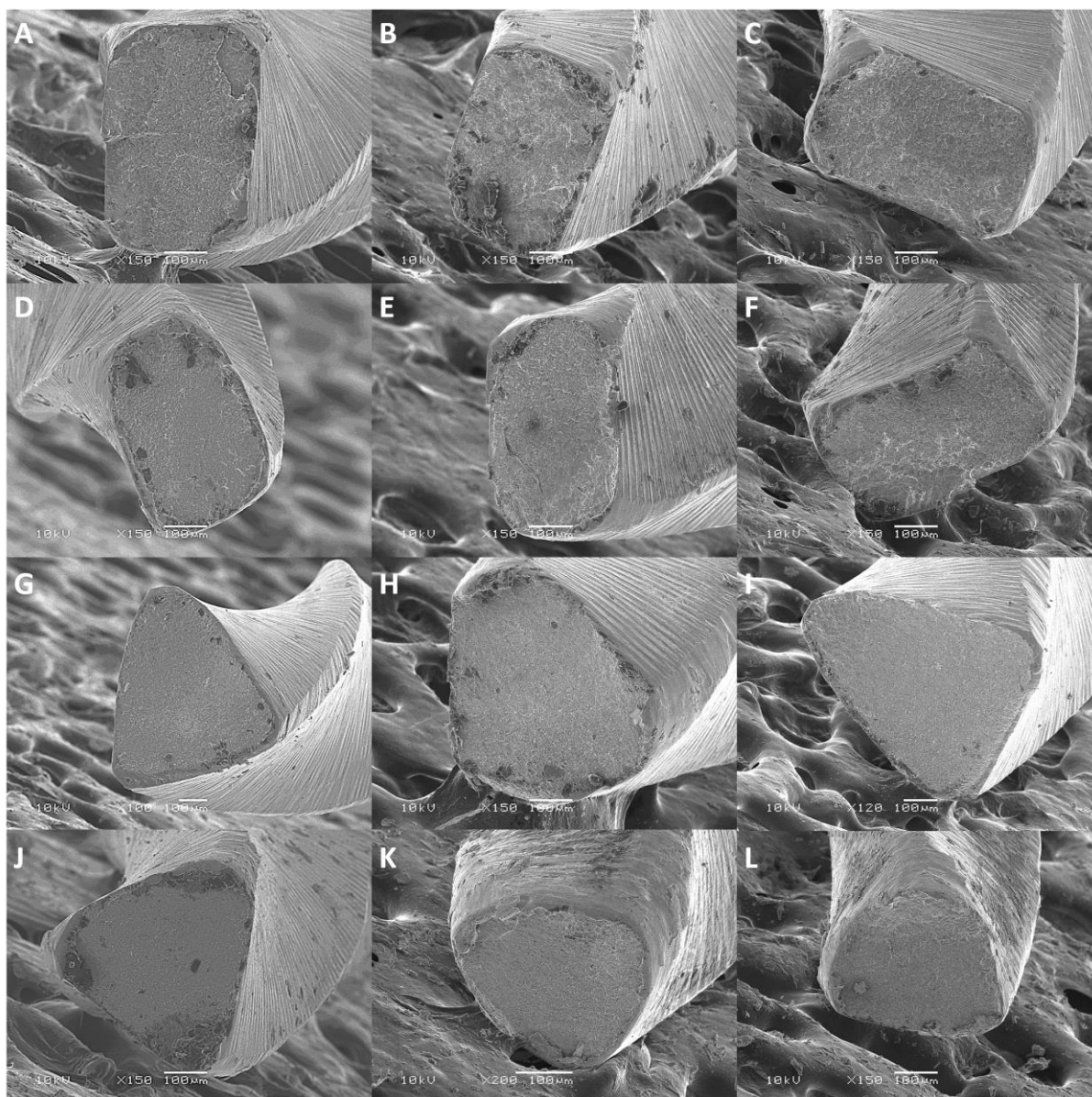


Figure 1. Scanning electron microscopy images of the fractured surfaces of WaveOne Gold 25.07 at $37\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (A, B and C), WaveOne Gold 25.07 at $37\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ with a cooling spray (D, E and F), X1 Blue File 25.06 at $37\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (G, H and I) and X1 Blue File 25.06 at $37\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ with a cooling spray (J, K and L) demonstrating typical features of flexural failure.

Discussion

The NiTi alloy has an attractive property of promoting their change of phase in response to temperature changes or applied mechanical tension. In low temperatures, it has a higher bending capability (martensitic phase), and when

subjected to heat, the alloy returns to its original shape, changing its phase (austenitic phase) (23).

The presented study developed a methodology that made it possible to test the influence of cooling the alloy during the cyclic fatigue test at body temperature, given the resistance to cyclic fatigue increases as the temperature decreases (6,14–22). Throughout this method, a cooling gas spray was used to induce a temperature drops in the alloy, being a cooling method replicable in clinical situations.

The temperature at which the Endo-Ice gas exits the spray bottle, according to its manufacturer, is of -50°C . In a study of endodontic cooling tests, when Endo-Ice (Coltene/Whaledent, Mahwah, N.J., U.S.) was applied to a cotton swab, it had a temperature of $-18.5 \pm 7.0^{\circ}\text{C}$, and Endo-Frost (Roeko, Germany) had $-28.0 \pm 11.2^{\circ}\text{C}$ (24). Thus, this is the assumed temperature transmitted to the tested instrument. A limitation of this study is that when the cooled file makes contact with body temperature, the file temperature gradually increases. Besides, since the degree of dissipation was not measured, the act of re-cooling the file every 30 seconds was the alternative method of execution. A highlighting benefit of this study is that such a method allows the file surface to be cooled quickly and conveniently reproduced throughout the experiment. The results obtained demonstrated positive effects in improving the instrument's resistance to cyclic fatigue.

The results of this study showed that cooling increases the resistance to cyclic fatigue of the tested NiTi instruments ($P < .05$). Thus, the null hypothesis was rejected. Our results are following previous studies (6,14–22) in which the resistance to cyclic fatigue increased when decreasing temperature. Controversially, another study presented that the immersion of Reciproc Blue instruments in higher temperatures for 5 minutes positively affected its resistance to cyclic fatigue (25). The variation of the adopted methodologies can explain this contradiction. In our study the tests were performed in 37°C all the time. Keles *et al.* (25) first immersed the instruments in heated liquids for 5 minutes, but the tests were performed at room temperature. Another factor is that the temperature in which Reciproc Blue instruments had the best results was 60°C , a condition that does not reflect a clinical situation.

Plotino *et al.* (26) found, in a study with ProTaper Universal (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) and Protaper Gold (Dentsply Maillefer), that the latter did not suffer significant statistical difference in thermal variation between the temperatures of $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ and $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. However, in this study, there was no water immersion of the instrument during cyclic fatigue tests. Additionally, another study by Keleş *et al.* (27), with Reciproc files (VDW, Munich, Germany) and Wave One (Dentsply Sirona Endodontics, Ballaigues, Switzerland), in which cyclic fatigue test through water immersion was performed at temperatures between $22^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ and $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, no significant difference was obtained between the tested temperatures, likely due to the difference of the tested instruments, such as diameter, tube size, and material.

Throughout this study, we were cautious to adjust the instrument to the artificial canal so that it could uniformly reciprocate. Plotino *et al.* (4) found that when the file freely rotates inside the device, it can potentially follow a more severe curvature or not, depending on the stiffness of the instrument, which explains the wide variety of related fatigues across reported findings.

There is an increasing number of studies comparing resistance to cyclic fatigue at body temperature (6,14–16,18–22,25–31), attempting to approach clinical conditions and due to the sensitivity of the heat-treated instrument to temperature variations. The studies testing instruments at body temperature are more reliable than those who did not. Many other research results should be considered as having little significance, and therefore, should be revised (17,32).

In this study, the X1 Blue File instruments demonstrated significantly higher resistance to cyclic fatigue when compared to WaveOne Gold instruments in both testing groups. These results are inconsistent with the results obtained by Klymus *et al.* (6) that did not observe a difference between X1B and WOG in body temperature.

Additionally, a percentage point increase in resistance was evidenced in this study when the instrument underwent the cooling process in both groups (Table 2). Our results are aligned with several other studies that also observed an increase in resistance at lower temperatures (6,14–17,19–22).

The bending tests are essential since they are related to the instrument's performance in preparing curved root canals (33). In the current study, there was no difference in bending resistance between X1B and WOG instruments. The

results are consistent with the study by Ozyurek (34) which used the Gold and Blue alloy. A possible explanation would be that both instruments have high flexibility, which allows the reduction of the load exerted on the instrument's cutting blades in a curved canal, reducing the tension on the instrument and the risk of fracture.

The alterations in the fractured surface observed by the scanning electron microscope were small, presenting typical cyclic fatigue features, including areas with noticeable cracking initiation, fatigue-caused striations, and dimples.

The differential of this study is regarding cooling methodology where it is possible to cool the instrument and immediately use it inside the canal, being easily reproduced during clinical use, which is of great benefit given there is strong evidence that cooling favors increased cyclic fatigue.

Conclusion

The decrease in temperature of the instruments tested with cooling gas spray increased their resistance to cyclic fatigue. The X1B instruments presented higher resistance to cyclic fatigue when compared to WOG instruments.

Acknowledgments

The authors deny any conflict of interest related to this study.

References

- 1 Iqbal MK, Kohli MR, Kim JS. A retrospective clinical study of incidence of root canal instrument separation in an endodontics graduate program: A PennEndo database study. *J Endod* 2006;32:1048–52.
- 2 Parashos P, Messer HH. Rotary NiTi instrument fracture and its consequences. *J Endod* 2006;32:30–4.
- 3 Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JEA, *et al.* Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *J Endod* 2000;26:161–5.

4 Plotino G, Grande NM, Cordaro M, *et al.* A review of cyclic fatigue testing of nickeltitanium rotary instruments. *J Endod* 2009;35:1469–76.

5 Shen Y, Zhou HM, Zheng Y, *et al.* Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. *J Endod* 2013;39:163–72.

6 Klymus ME, Alcalde MP, Vivian RR, *et al.* Effect of temperature on the cyclic fatigue resistance of thermally treated reciprocating instruments. *Clin Oral Investig* 2019;23:3047–52.

7 Alcalde MP, Tanomaru-Filho M, Bramante CM, *et al.* Cyclic and torsional fatigue resistance of reciprocating single files manufactured by different nickel-titanium alloys. *J Endod* 2017;43:1186–91.

8 Alcalde MP, Duarte MAH, Bramante CM, *et al.* Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. *Clin Oral Investig* 2018;22:1865–71.

9 Goo HJ, Kwak SW, Ha JH, *et al.* Mechanical properties of various heat-treated nickeltitanium rotary instruments. *J Endod* 2017;43:1872–7.

10 Gil J, Rupérez E, Velasco E, *et al.* Mechanism of fracture of NiTi superelastic endodontic rotary instruments. *J Mater Sci Mater Med* 2018;29:131.

11 Staffoli S, Grande NM, Plotino G, *et al.* Influence of environmental temperature, heattreatment and design on the cyclic fatigue resistance of three generations of a single-file nickel–titanium rotary instrument. *Odontology* 2019;107:301–7.

12 Mohammadi Z, Soltani MK, Shalavi S, *et al.* A review of the various surface treatments of NiTi instruments. *Iran Endod J* 2014;9:235–40.

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

14 Dosanjh A, Paurazas S, Askar M. The effect of temperature on cyclic fatigue of nickeltitanium rotary endodontic instruments. *J Endod* 2017;43:823–6.

15 Arias A, Hejlawy S, Murphy S, *et al.* Variable impact by ambient temperature on fatigue resistance of heat-treated nickel titanium instruments. *Clin Oral Investig* 2019;23:1101– 8.

16 Alfawaz H, Alqedairi A, Alsharekh H, *et al.* Effects of sodium hypochlorite concentration and temperature on the cyclic fatigue resistance of heat-treated nickeltitanium rotary instruments. *J Endod* 2018;44:1563–6.

17 Grande NM, Plotino G, Silla E, *et al.* Environmental temperature drastically affects flexural fatigue resistance of nickel-titanium rotary files. *J Endod* 2017;43:1157–60.

18 Gündoğar M, Özyürek T, Yılmaz K, *et al.* Cyclic fatigue resistance of HyFlex EDM, Reciproc Blue, WaveOne Gold, and Twisted File Adaptive rotary files under different temperatures and ambient conditions. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects* 2019;13:1– 6.

19 Huang X, Shen Y, Wei X, *et al.* Fatigue resistance of nickel-titanium instruments exposed to high-concentration hypochlorite. *J Endod* 2017;43:1847–51.

20 Plotino G, Grande NM, Testarelli L, *et al.* Cyclic fatigue of Reciproc and Reciproc Blue nickel-titanium reciprocating files at different environmental temperatures. *J Endod* 2018;44:1549–52.

21 Shen Y, Huang X, Wang Z, *et al.* Low environmental temperature influences the fatigue resistance of nickel-titanium files. *J Endod* 2018;44:626–9.

22 de Vasconcelos RA, Murphy S, Carvalho CA, *et al.* Evidence for reduced fatigue resistance of contemporary rotary instruments exposed to body temperature. *J Endod* 2016;42:782–7.

23 Otsuka K, Ren X. Recent developments in the research of shape memory alloys. *Intermetallics* 1999;7:511–28.

24 de Morais CAH, Bernardineli N, Lima WM, *et al.* Evaluation of the temperature of different refrigerant sprays used as a pulpal test. *Aust Endod J* 2008;34:86–8.

25 Keles A, Uzunoglu OE, Uyanik MO, *et al.* Effect of temperature of sodium hypochlorite on cyclic fatigue resistance of heat-treated reciprocating files. *J Endod* 2019;45:205–8.

26 Plotino G, Grande NM, Mercadé BM, *et al.* Influence of temperature on cyclic fatigue resistance of protaper gold and protaper universal rotary files. *J Endod* 2017;43:200–2.

27 Keleş A, Eymirli A, Uyanık O, *et al.* Influence of static and dynamic cyclic fatigue tests on the lifespan of four reciprocating systems at different temperatures. *Int Endod J* 2019;52:880–6.

28 Scott R Arias A, Peters OA. Resistance to cyclic fatigue of reciprocating instruments determined at body temperature and phase transformation analysis. *Aust Endod J* 2019;45:400–6.

29 Elnaghy A, Elsaka S. Cyclic fatigue resistance of XP-endo Shaper compared with different nickel-titanium alloy instruments. *Clin Oral Investig* 2018;22:1433–7.

30 Elnaghy AM, Elsaka SE. Cyclic fatigue resistance of One Curve, 2Shape, ProFile Vortex, Vortex Blue, and RaCe nickel-titanium rotary instruments in single and double curvature canals. *J Endod* 2018;44:1725–30.

31 Jamleh A, Yahata Y, Ebihara A, *et al.* Performance of NiTi endodontic instrument under different temperatures. *Odontology* 2016;104:324–8.

32 Hülsmann M, Donnermeyer D, Schäfer E. A critical appraisal of studies on cyclic fatigue resistance of engine-driven endodontic instruments. *Int Endod J* 2019;52:1427–45.

33 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. *J Endod* 2013;39:516–20.

34 Özyürek T, Gündoğar M, Yılmaz K, *et al.* Bending resistance and cyclic fatigue life of Reciproc Blue, WaveOne Gold, and Genius files in a double (S-shaped) curved canal. J Dent Res Dent Clin Dent Prospects 2017;11:241–6.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os instrumentos endodônticos passaram por uma revolução tecnológica desde a introdução da liga de NiTi, facilitando o preparo de canais curvos. Entretanto, a fratura dos instrumentos ainda é uma preocupação para o clínico e a fadiga cíclica é apontada como uma das possíveis causas.

Diferentes alterações ocorreram na busca pelo aprimoramento dos instrumentos endodônticos, dentre elas se destaca o tratamento térmico aplicado durante o seu processo de fabricação como: M Wire (Dentsply), fase R (SybronEndo), CM (Coltene), Blue Wire (VDW), Gold Wire (Dentsply) até os tratamentos mais novos como Max Wire (FKG) e CM Wire EDM (Coltene). O objetivo é produzir instrumentos com melhor resistência à fadiga e maior flexibilidade, com menor índice de fratura durante o uso clínico.

Diante de tantos tipos de instrumentos endodônticos no mercado, faz-se necessário o estudo da fadiga cíclica destes instrumentos. Recentemente tem sido comprovado um importante fator que impacta na resistência do instrumento frente à fadiga cíclica, a temperatura. Diversos trabalhos mostraram que a temperatura no qual o instrumento é testado interfere no comportamento das ligas. Dessa forma, a realização de testes de fadiga cíclica na temperatura próxima a corporal se faz necessária.

Assim como todas as outras ligas metálicas, a liga de NiTi possui fases: austenítica, fase-R e martensítica. Essa transformação de fases pode ser induzida por trocas de temperatura ou estresse, explicando assim, o diferente comportamento das ligas nos testes de fadiga cíclica em temperatura ambiente e em temperatura corporal.

O presente estudo avaliou a influência da utilização de um gás refrigerante na fadiga cíclica de dois instrumentos de NiTi tratados termicamente. A temperatura se mostrou um diferencial na resistência dos instrumentos e a utilização de um resfriamento aumentou significativamente a resistência a fadiga cíclica de ambos instrumentos testados, nos instrumentos X1B obtivemos uma média de aumento de 127,5% na resistência e nos instrumentos WOG obtivemos uma média de aumento de 92,15% na resistência, após o resfriamento. Esse método se mostrou eficaz, de fácil reprodução e aumentou consideravelmente a segurança durante a prática clínica.

Os instrumentos X1 Blue File #25.06 apresentaram maior tempo para fratura em relação aos instrumentos WaveOne Gold #25.07 em temperatura ambiente e ao serem resfriados.

Em relação à capacidade flexural do instrumento, que está intimamente ligada a performance em canais curvos, neste estudo, não houve diferença significativa entre os instrumentos testados. Ambos instrumentos possuem alta flexibilidade, o que permite a redução da carga exercida nas lâminas de corte do instrumento em um canal curvo, reduzindo a tensão no instrumento e o risco de fratura.

Este estudo não põe fim aos testes com resfriamento relacionados a esses instrumentos. Novos estudos que testem aspectos clínicos, como a capacidade de transporte do canal, resistência torsional, entre outros pontos de interesse, se fazem necessários para que possam ser indicados com segurança e eficácia para a prática clínica.

REFERÊNCIAS

ALCALDE, M. P. et al. 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.

ALCALDE, M. P. et al. Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments (Clinical Oral Investigations, (2018), 22, 4, (1865-1871), 10.1007/s00784-017-2295-8). **Clinical Oral Investigations**, v. 22, n. 4, p. 1865–1871, 2018.

ALFAWAZ, H. et al. Effects of Sodium Hypochlorite Concentration and Temperature on the Cyclic Fatigue Resistance of Heat-treated Nickel-titanium Rotary Instruments. **Journal of Endodontics**, v. 44, n. 10, p. 1563–1566, 2018.

ALMEIDA, G. C. et al. Torsional behaviour of Reciproc and Reciproc blue instruments associated with their martensitic transformation temperatures. **International Endodontic Journal**, v. 52, n. 12, p. 1768–1772, 2019.

ARIAS, A. et al. Variable impact by ambient temperature on fatigue resistance of heat-treated nickel titanium instruments. **Clinical Oral Investigations**, v. 23, n. 3, p. 1101–1108, 2019.

DE-DEUS, G. et al. Blue Thermomechanical Treatment Optimizes Fatigue Resistance and Flexibility of the Reciproc Files. **Journal of Endodontics**, v. 43, n. 3, p. 462–466, 2017.

DE MORAIS, C. A. H. et al. Evaluation of the temperature of different refrigerant sprays used as a pulpal test. **Australian Endodontic Journal**, v. 34, n. 3, p. 86–88, 2008.

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

DOSANJH, A.; PAURAZAS, S.; ASKAR, M. The Effect of Temperature on Cyclic

Fatigue of Nickel-titanium Rotary Endodontic Instruments. **Journal of Endodontics**, v. 43, n. 5, p. 823–826, 2017.

ELNAGHY, A.; ELSAKA, S. Cyclic fatigue resistance of XP-endo Shaper compared with different nickel-titanium alloy instruments. **Clinical Oral Investigations**, v. 22, n. 3, p. 1433–1437, 2018.

ELNAGHY, A. M.; ELSAKA, S. E. Cyclic Fatigue Resistance of One Curve, 2Shape, ProFile Vortex, Vortex Blue, and RaCe Nickel-Titanium Rotary Instruments in Single and Double Curvature Canals. **Journal of Endodontics**, v. 44, n. 11, p. 1725–1730, 2018.

ELSAKA, S. E.; ELNAGHY, A. M.; BADR, A. E. Torsional and bending resistance of WaveOne Gold, Reciproc and Twisted File Adaptive instruments. **International Endodontic Journal**, v. 50, n. 11, p. 1077–83, 2017.

GIL, J. *et al.* Mechanism of fracture of NiTi superelastic endodontic rotary instruments. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, v. 29, n. 8, 2018.

GOO, H.-J. *et al.* Mechanical Properties of Various Heat-treated Nickel-titanium Rotary Instruments. **Journal of Endodontics**, v. 43, n. 11, p. 1872–1877, 2017.

GRANDE, N. M. *et al.* Environmental Temperature Drastically Affects Flexural Fatigue Resistance of Nickel-titanium Rotary Files. **Journal of Endodontics**, v. 43, n. 7, p. 1157–1160, 2017.

GÜNDOĞAR, M. *et al.* Cyclic fatigue resistance of HyFlex EDM, Reciproc Blue, WaveOne Gold, and Twisted File Adaptive rotary files under different temperatures and ambient conditions. **Journal of dental research, dental clinics, dental prospects**, v. 13, n. 3, p. 1–6, 2019.

HUANG, X. *et al.* Fatigue Resistance of Nickel-titanium Instruments Exposed to High-concentration Hypochlorite. **Journal of Endodontics**, v. 43, n. 11, p. 1847–1851, 2017.

HÜLSMANN, M.; DONNERMEYER, D.; SCHÄFER, E. A critical appraisal of

studies on cyclic fatigue resistance of engine-driven endodontic instruments. **International Endodontic Journal**, v. 52, n. 10, p. 1427–1445, 2019.

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

IQBAL, M. K.; KOHLI, M. R.; KIM, J. S. A Retrospective Clinical Study of Incidence of Root Canal Instrument Separation in an Endodontics Graduate Program: A PennEndo Database Study. **Journal of Endodontics**, v. 32, n. 11, p. 1048–1052, nov. 2006.

JAMLEH, A. *et al.* Performance of NiTi endodontic instrument under different temperatures. **Odontology**, v. 104, n. 3, p. 324–328, 2016.

KAVAL, M. E. *et al.* Comparative evaluation of cyclic fatigue resistance of four different nickel-titanium rotary files with different cross-sectional designs and alloy properties. **Clinical Oral Investigations**, v. 21, n. 5, p. 1527–1530, 2017.

KELES, A. *et al.* Effect of Temperature of Sodium Hypochlorite on Cyclic Fatigue Resistance of Heat-treated Reciprocating Files. **Journal of Endodontics**, v. 45, n. 2, p. 205–208, 2019.

KELEŞ, A. *et al.* Influence of static and dynamic cyclic fatigue tests on the lifespan of four reciprocating systems at different temperatures. **International Endodontic Journal**, v. 52, n. 6, p. 880–886, 2019.

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

LOPES, H. P. *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**, v. 39, n. 4, p. 516–520, 2013.

LOPES, H. P.; SIQUEIRA JR, J. F. Instrumentos Endodônticos. In: **Endodontia: Biologia e Técnica**. Rio de Janeiro: GEN Guanabara Koogan, 2015. p. 848.

MIYAZAKI, S.; OTSUKA, K. Deformation and Transition Behavior Associated with the R-Phase in Ti-Ni Alloys. **Metallurgical Transactions**, v. 17, n. January, p. 53–63, 1986.

MOHAMMADI, Z. *et al.* A review of the various surface treatments of NiTi instruments. **Iranian Endodontic Journal**, v. 9, n. 4, p. 235–240, 2014.

OTSUKA, K.; REN, X. Recent developments in the research of shape memory alloys. **Intermetallics**, v. 7, n. 5, p. 511–528, 1999.

ÖZYÜREK, T. *et al.* Bending resistance and cyclic fatigue life of Reciproc Blue, WaveOne Gold, and Genius files in a double (S-shaped) curved canal. **Journal of dental research, dental clinics, dental prospects**, v. 11, n. 4, p. 241–246, 2017.

PANITVISAI, P. *et al.* Impact of a Retained Instrument on Treatment Outcome: A Systematic Review and Meta-analysis. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 5, p. 775-780, 2010.

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

PARASHOS, P.; MESSER, H. H. Rotary NiTi Instrument Fracture and its Consequences. **Journal of Endodontics**, v. 32, n. 11, p. 30–34, 2006.

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

PLOTINO, G. *et al.* Influence of Temperature on Cyclic Fatigue Resistance of ProTaper Gold and ProTaper Universal Rotary Files. **Journal of Endodontics**, v. 43, n. 2, p. 200-202, 2017.

PLOTINO, G. *et al.* Cyclic Fatigue of Reciproc and Reciproc Blue Nickel-titanium Reciprocating Files at Different Environmental Temperatures. **Journal of Endodontics**, v. 44, n. 10, p. 1549–1552, 2018.

PRUETT, J. P.; CLEMENT, D. J.; CARNES, D. L. Cyclic Fatigue Testing of

Nickel-Titanium Endodontic Instruments. **Journal of Endodontics**, v. 23, n. 2, p. 77-85, 1997.

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

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

SCOTT, R.; ARIAS, A.; PETERS, O. A. Resistance to cyclic fatigue of reciprocating instruments determined at body temperature and phase transformation analysis. **Australian Endodontic Journal**, n. 4, p. 1–7, 2019.

SHEN, Y. *et al.* Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. **Journal of Endodontics**, v. 39, n. 2, p. 163–172, 2013.

SHEN, Y. *et al.* Effect of Torsional and Fatigue Preloading on HyFlex EDM Files. **Journal of Endodontics**, p. 1–5, 2017.

SHEN, Y. *et al.* Low Environmental Temperature Influences the Fatigue Resistance of Nickel-titanium Files. **Journal of Endodontics**, v. 44, n. 4, p. 626–629, 2018.

STAFFOLI, S. *et al.* Influence of environmental temperature, heat-treatment and design on the cyclic fatigue resistance of three generations of a single-file nickel-titanium rotary instrument. **Odontology**, v. 107, n. 3, p. 301–307, 2019.

THOMPSON, S. A. An overview of nickel – titanium alloys used in dentistry. **International Endodontic Journal**, v. 33, n. 0, p. 297–310, 2000.

WALIA, HARMEET; BRANTLEY, WILLIAM A.; GERSTEIN, HAROLD. An initial investigation of the bending and torsional properties of nitinol root canal files. **Journal of Endodontics**, v. 14, n. 7, p. 346–351, 1988.

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

p. 1088–1103, 2018.

ANEXO – Aprovação da Comissão Científica e Ética (COMPESQ) da Faculdade de Odontologia da UFRGS

| | | | | |
|---|--|----------------|---|--|
| Projeto Nº: | 37130 | Título: | RESISTENCIA A FRATURA CÍCLICA, DURANTE UM PROCESSO DE RESFRIAMENTO, DE DIFERENTES TIPOS DE LIGAS DE NITI. | |
| Área de conhecimento: | Endodontia | Início: | 01/07/2019 | Previsão de conclusão: 01/07/2020 |
| Situação: | Projeto Desativado Desativação automática pelo sistema - projeto em andamento com previsão de conclusão inferior à data atual. | | Término: | 02/07/2020 |
| Origem: | Faculdade de Odontologia Programa de Pós-Graduação em Odontologia | | Projeto da linha de pesquisa: BIOMATERIAIS E TÉCNICAS TERÁPEUTICAS EM ODONTOLÓGIA | |
| Local de Realização: | não informado | | | |
| Não apresenta relação com Patrimônio Genético ou Conhecimento Tradicional Associado. | | | | |
| Objetivo: | Este estudo tem como objetivo avaliar se o resfriamento de instrumentos de NiTi produzidos a partir do tratamento térmico Blue, Gold, M-wire e CM promoverão alterações na fadiga cíclica desses instrumentos, quando comparados a temperatura corporal. Para a avaliação serão utilizadas 80 limas de NiTi divididas em liga Blue, Gold, M-wire e CM. Os instrumento serão divididos em dois grupos experimentais: 1-TESTE DE FADIGA CÍCLICA EM TEMPERATURA DE 37.C. e 2- TESTE DE FADIGA CÍCLICA COM | | | |
| Palavras Chave: | ENDODONTIA | | | |
| Equipe UFRGS: | Nome: MARCUS VINICIUS REIS SO Coordenador - Início: 01/07/2019 Término: 02/07/2020 Nome: Luana Heck Outra: Aluno de Mestrado - Início: 01/07/2019 Término: 02/07/2020 | | | |
| Avaliações: | Comissão de Pesquisa de Odontologia - Aprovado em 23/05/2019 Clique aqui para visualizar o parecer | | | |