Resistência à fadiga cíclica e torcional dos instrumentos reciprocantes W File e X1 Blue File

Pedro Henrique Souza **CALEFI**[1]
Roberto Barreto **OSAKI**[1]
Nathan Franhan Dal **EVEDOVE**[2]
Victor Moraes **CRUZ**[1]
Flaviana Bombarda de **ANDRADE**[1]
Murilo Priori **ALCALDE**[2]

DOI: https://doi.org/10.14436/2358-2545.10.2.060-066.oar

RESUMO

Objetivo: O objetivo deste estudo foi avaliar a resistência à fadiga cíclica e torcional dos sistemas reciprocantes W File 25.07 (WF, TDKaFile, Cidade do México, México) e X1 Blue File 25.06 (X1 BF, MK Life, Porto Alegre, Brasil) à temperatura corporal. **Material e Métodos:** Foram utilizados 40 instrumentos reciprocantes W File 25.07 (WF 25.07) e X1 BF 25.06 (n = 20, cada grupo). O teste de fadiga cíclica foi realizada à temperatura corporal (36 ± 1°C). Os instrumentos foram ativados com movimento reciprocante em um canal artificial de aço inoxidável com ângulo de 60° e 5 mm de raio de curvatura (n = 10). O teste torcional avaliou o torque e o ângulo de rotação necessários para a fratura dos instrumentos (n = 10) nos 3 mm iniciais da parte ativa do instrumento, de acordo com a norma ISO 3630-1. Os fragmentos fraturados foram avaliados em microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os dados obtidos foram submetidos aos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e *t* de Student, sendo utilizado o nível de significância de 5%. **Resultado:** O X1 BF 25.06 apresentou maior tempo e número de ciclos para a fratura do que o WF 25.07 ($p < 0,05$). O teste de torção demonstrou que o WF 25.07 apresentou maior torque do que o X1 BF 25.06 ($p < 0,05$). Em relação ao ângulo de rotação, o X1 BF 25.06 apresentou maiores valores do que o WF 25.07 ($p < 0,05$). **Conclusão:** O X1 BF apresentou maior resistência à fadiga cíclica e maior ângulo para a fratura do que o WF 25.07. Entretanto, o WF 25.07 apresentou maior torque para a fratura do que o X1 BF 25.06.

Palavras-chave: Endodontia. Instrumentos odontológicos. Níquel. Titânio.

Como citar: Calefi PHS, Osaki RB, Evedove NFD, Cruz VM, Andrade FB, Alcalde MP. Cyclic and torcional fatigue resistance of W File and X1 Blue file reciprocating instruments. Dental Press Endod. 2020 May-Aug;10(2):60-6.
DOI: https://doi.org/10.14436/2358-2545.10.2.060-066.oar

» Os autores declaram não ter interesses associativos, comerciais, de propriedade ou financeiros, que representem conflito de interesse, nos produtos e companhias descritos nesse artigo.

[1] Universidade de São Paulo, Departamento de Dentística, Endodontia e Materiais Odontológicos (Bauru/SP, Brasil).

[2] Centro Universitário do Sagrado Coração, Centro de Ciências da Saúde, Curso de Odontologia, Bauru/SP.

Recebido: 08/01/2019. Aceito: 11/02/2019.

Endereço para correspondência: Murilo Priori Alcalde
E-mail: murilo_alcalde@hotmail.com

© 2020 Dental Press Endodontics

Introdução

Os instrumentos mecanizados de níquel-titânio (NiTi) têm sido amplamente utilizados no preparo de canais curvos, devido à sua alta flexibilidade, o que proporciona um preparo seguro do canal radicular e baixo risco de erros de modelagem[1,2]. No entanto, a fratura do instrumento continua sendo uma preocupação para os clínicos. Os instrumentos mecanizados de NiTi podem sofrer fraturas devido à fadiga cíclica e torcional[3,4]. A fadiga cíclica ocorre quando o instrumento está rotacionando em um canal curvo e é submetido a *stress* de tração e compressão no ponto máximo de flexão[3,4]. A fadiga torcional ocorre quando a ponta do instrumento está travada nas paredes da dentina e o instrumento continua a rotacionar, o que pode induzir deformação plástica ou fratura[3,4].

Nas últimas décadas, os fabricantes desenvolveram várias modificações nos instrumentos NiTi, com o objetivo de melhorar suas propriedades mecânicas, como: novos *designs* e processos de fabricação, nova cinemática e novo tratamento térmico do NiTi[1,2,4-7]. Os tratamentos térmicos promovem um melhor arranjo dos cristais na liga de NiTi, o que pode favorecer uma certa quantidade de fase R e fase martensita[1,2,7]. Geralmente, os tratamentos térmicos do NiTi induzem maior flexibilidade, aumentam a resistência cíclica e a capacidade de deformação angular, quando comparados com o NiTi Wire convencional (SE-Wire)[2,7].

A cinemática reciprocante demonstrou ser mais segura do que o movimento rotatório durante o preparo de canais radiculares curvos e estreitos, devido à redução do estresse cíclico e torcional[4,6,8,9]. Atualmente, existem vários instrumentos NiTi reciprocantes e todos eles são tratados termicamente. O Reciproc Blue (RB, VDW, Munique, Alemanha) e o Wave-One Gold (WOG, Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça) são os instrumentos reciprocantes mais conhecidos, sendo amplamente utilizados — vários estudos anteriores avaliaram sua resistência à fadiga cíclica e torcional[10-13]. No entanto, dois novos instrumentos reciprocantes foram recentemente introduzidos no mercado brasileiro: o X1 Blue File (MK Life, Porto Alegre, Brasil) e WA1 File (TDKaFile, Cidade do México, México). Porém, faltam informações sobre as propriedades mecânicas desses instrumentos.

O sistema reciprocante X1 Blue file (X1 BF) possui três instrumentos com tamanhos de ponta #20, #25 e #40, e conicidade 0.06; apresenta uma seção transversal triangular convexa e é fabricado com tratamento térmico semelhante ao da tecnologia Blue[12]. Klymus et al.[12] mostraram que o X1 BF 25.06 apresenta resistência à fadiga cíclica semelhante à do RB 25.08 e WOG 25.07, à temperatura corporal. No entanto, não há dados sobre a resistência à fadiga torcional desse instrumento.

O W File é um sistema reciprocante mexicano importado por uma empresa brasileira (Eurodonto, Curitiba, Brasil). Esse sistema apresenta instrumentos com tamanho de ponta, conicidade e *design* da seção transversal semelhantes ao sistema WOG. Ele possui instrumentos com tamanho de ponta #20, #25, #35 e #45 e, respectivamente, conicidade 0.07, 0.07, 0.06 e 0.05, com desenho de seção transversal em paralelogramo. De acordo com o fabricante, os instrumentos são tratados termicamente por um processo especial, que induz uma camada de óxido na superfície do instrumento, deixando-os com uma cor dourada. Não há dados sobre a resistência à fadiga cíclica e torcional desse sistema.

Estudos anteriores relataram que a temperatura corporal afeta drasticamente a resistência à flexão dos instrumentos NiTi, porque é capaz de modificar as temperaturas de transformação do NiTi[14-16]. Portanto, o teste de fadiga cíclica dos instrumentos NiTi deve sempre ser realizado próximo à temperatura corporal, para garantir resultados relevantes e simular o comportamento flexural à temperatura interna do canal radicular[12,14-16].

O conhecimento da fadiga cíclica e da resistência à fadiga torcional dos instrumentos NiTi é de fundamental importância para permitir o uso clínico seguro e eficaz. Assim, é importante conhecer as propriedades mecânicas desse novo sistema reciprocante. Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar a fadiga cíclica e torcional (carga máxima de torque e rotação angular) dos instrumentos X1 BF 25.06 e WF 25.07 à temperatura corporal. As hipóteses nulas testadas foram as seguintes: 1) não há diferença na resistência à fadiga cíclica entre os instrumentos; e 2) não há diferenças na resistência à torção entre os instrumentos.

Material e Métodos

O cálculo amostral foi realizado antes do teste mecânico, usando o G*Power v3.1 para Mac (Heinrich Heine, University of Düsseldorf) e selecionando o teste Wilcoxon-Mann-Whitney da família do teste *t*. Foram, também, estipulados o erro alfa em 0,05, o poder do beta em 0,95 e uma proporção N2/N1 de 1. O teste mostrou um total de 10 amostras para cada grupo como o tamanho ideal para identificar diferenças significativas.

© 2020 Dental Press Endodontics

No total, 40 instrumentos de NiTi (de 25mm de comprimento) foram usados para esse trabalho. As amostras foram divididas nos seguintes dois grupos (n = 20 por sistema): X1 BF 25.06 e WF 25.07. Antes do teste mecânico, todos os instrumentos foram inspecionados por um microscópio estereoscópico (Carls Zeiss, LLC, EUA) com 16x de magnificação, para detectar possíveis defeitos ou deformidades. Nenhum instrumento precisou ser descartado.

Teste de fadiga cíclica

O teste estático de fadiga cíclica foi realizado em um dispositivo feito sob medida, simulando um canal artificial, feito de aço inoxidável, com ângulo de curvatura de 60° e um raio de curvatura de 5 mm, como previamente descrito[12,17]. O teste de fadiga cíclica foi realizado à temperatura corporal (36 ± 1°C), imerso em água, como descrito em estudo anterior[12]. O dispositivo de fadiga cíclica foi submerso em um recipiente plástico preenchido com 400 ml de água deionizada, e um termostato de aquário (Hopar, Guangdong, China) foi submerso na água alguns minutos antes do início do teste de cada instrumento, para confirmar a temperatura desejada (36 ± 1°C). Durante todos os testes, a temperatura foi monitorada por um termômetro digital de aquário.

Todos os instrumentos foram ativados até a ocorrência da fratura, e o tempo até a falha foi registrado usando um cronômetro digital. Durante o teste, uma gravação de vídeo foi feita simultaneamente, sendo esse vídeo posteriormente observado para conferir o momento exato da fratura do instrumento. Além disso, o número de ciclos até a falha (NCF) foi calculado usando-se a seguinte fórmula: tempo até a falha (em segundos) X 350 rpm ("Wave One ALL") / 60.

Para esse teste, foram utilizados 10 instrumentos para cada sistema reciprocante, acoplado a um motor VDW Silver (VDW, Munique, Alemanha) conectado ao dispositivo de fadiga cíclica. Os programas predefinidos foram selecionados de acordo com as recomendações do fabricante: o X1 BF 25.06 e o WF 25.07 foram usados com o programa "WaveOne ALL".

Teste de fadiga torcional

Os testes torcionais foram feitos com base na ISO 3630-1, usando uma máquina de torção descrita anteriormente em outros estudos[10,18]. Foram usados para esse teste 10 instrumentos (com 25mm de comprimento) de cada sistema reciprocante. Esse teste foi realizado para medir o torque máximo e a rotação angular até o instrumento falhar.

Todos os dados foram gravados por um programa específico da máquina de torção (MicroTorque, Analógica, Belo Horizonte/MG, Brasil). Antes do teste, as alças de todos os instrumentos foram retiradas no momento em que eles foram colocados no eixo de torção. Os três milímetros da ponta do instrumento foram fixados em um mandril conectado a um motor. O motor operava em rotação no sentido anti-horário, com velocidade de 2 rpm, para todos os grupos.

Avaliação em MEV

Após os testes de fadiga cíclica e torcional, todos os instrumentos foram avaliados por meio de MEV (JEOL, JSM-TLLOA, Tóquio, Japão), para se determinar as características topográficas dos fragmentos após esses testes. Os instrumentos foram limpos em um dispositivo de limpeza por ultrassom (Gnatus, Ribeirão Preto/SP, Brasil) em água destilada, por 3 minutos, antes da avaliação por MEV. Todas as superfícies fraturadas dos instrumentos foram examinadas com aumentos de 150x e 350x após o teste de fadiga cíclica. Além disso, a superfície fraturada dos instrumentos submetidos ao teste de torção foi examinada com ampliação de 200x e 1.000x no centro da superfície. As imagens obtidas por meio da MEV foram utilizadas para medir a área de seção transversal dos instrumentos, utilizando-se o *software* AutoCAD (Autodesk Inc, San Rafael, CA, EUA), conforme relatado anteriormente[10,18].

Análise estatística

O teste de Kolmogorov-Smirnov mostrou que os dados apresentavam distribuição normal; assim, a análise de variância de uma via (ANOVA) e o teste *t* de Student foram usados para comparações individuais e múltiplas. O *software* Prism 6.0 (GraphPad Software Inc., La Jolla, CA, EUA) foi usado como ferramenta de análise, e o nível de significância foi estabelecido em 5%.

Resultados

As médias e os desvios-padrão dos testes de fadiga cíclica (tempo e NCF) e torcional (torque máximo e ângulo de rotação) são mostrados na Tabela 1. O X1 25.06 apresentou tempo até a fratura e NCF mais altos do que o WF 25.07 ($p < 0,05$). Os valores máximos da força torcional e da rotação angular são mostrados na Tabela 1. O X1 BF 25.06 apresentou força de

torção significativamente menor do que o WF 25.07 ($p < 0,05$). Quanto à rotação angular, o X1 BF 25.06 apresentou valores significativamente maiores do que o WF 25.07 ($p < 0,05$).

As médias e os desvios-padrão da área de seção transversal a 3 mm e a 5 mm da ponta são mostrados na Tabela 2. O X1 BF apresentou área de seção transversal significativamente menor, nos dois pontos analisados, do que o WF 25.07 ($p < 0,05$).

A avaliação da superfície da fratura por MEV revelou características das falhas cíclicas e torcionais semelhantes para ambas as marcas. Após o teste de fadiga cíclica, as superfícies de todos os instrumentos fraturados apresentaram microespaços, característica morfológica das fraturas dúcteis (Fig. 1). Após o teste de torção, todos os instrumentos apresentaram marcas concêntricas de abrasão e marcas onduladas no centro de rotação do teste de torção (Fig. 2).

Tabela 1. Valores médios do tempo (em segundos), número de ciclos (NCF), torque (N.cm) e ângulo de distorção (graus) dos instrumentos testados.

Instrumentos	Fadiga cíclica				Fadiga torcional			
	Tempo (segundos)		Ciclos (NCF)		Torque (N.cm)		Ângulos (graus)	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
W File 25.07	118,3[b]	95,18	690,0[b]	219,1	1,34[a]	0,13	237,1[b]	13,38
X1 Blue File 25.06	227,3[a]	137,8	1616,0[a]	27,17	1,09[b]	0,09	291,0[a]	8,28

DP = desvio-padrão. Letras sobrescritas diferentes na mesma coluna indicam diferenças estatísticas entre os grupos (p < 0,05).

Tabela 2. Média da área (μm²) da seção transversal a 3mm e a 5 mm da ponta.

Instrumentos	Área da seção transversal (3mm)		Área da seção transversal (5mm)	
	Média	DP	Média	DP
X1 Blue File 25.06	104,957[a]	0,128	226,680[a]	0,313
W File 25.07	139,768[b]	0,169	295,826[b]	0,681

DP = desvio-padrão. Letras sobrescritas diferentes na mesma coluna indicam diferenças estatísticas entre os grupos (p < 0,05).

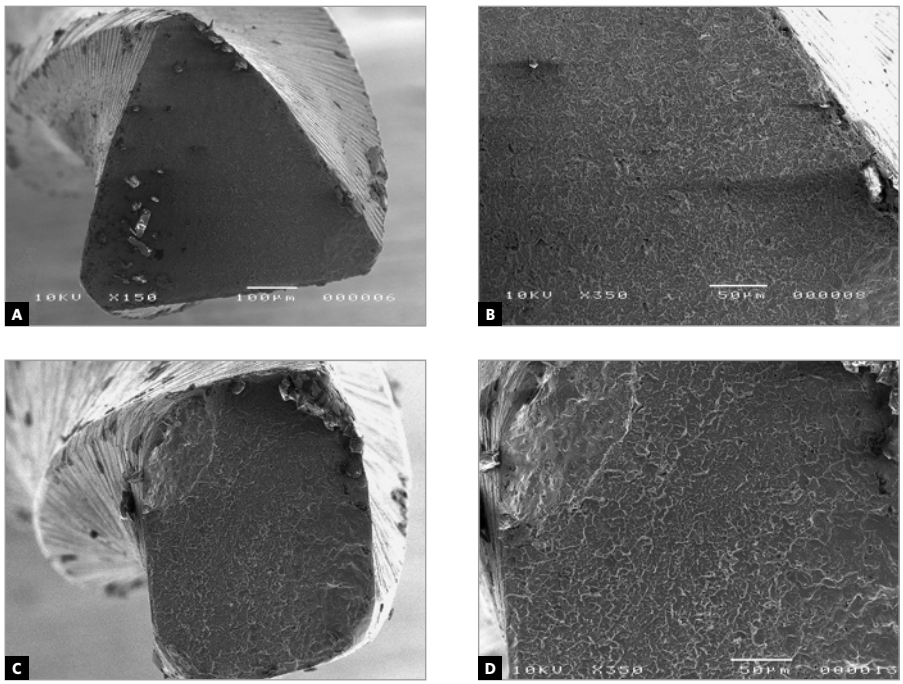

Figura 1. Imagens de microscopia eletrônica de varredura da superfície dos fragmentos fraturados do X1 BF 25.06 (**A**, **B**) e WF 25.07 (**C**, **D**) após o teste de fadiga cíclica. As imagens mostram inúmeras ranhuras espalhadas nas superfícies fraturadas, que constituem uma característica típica da fratura dúctil.

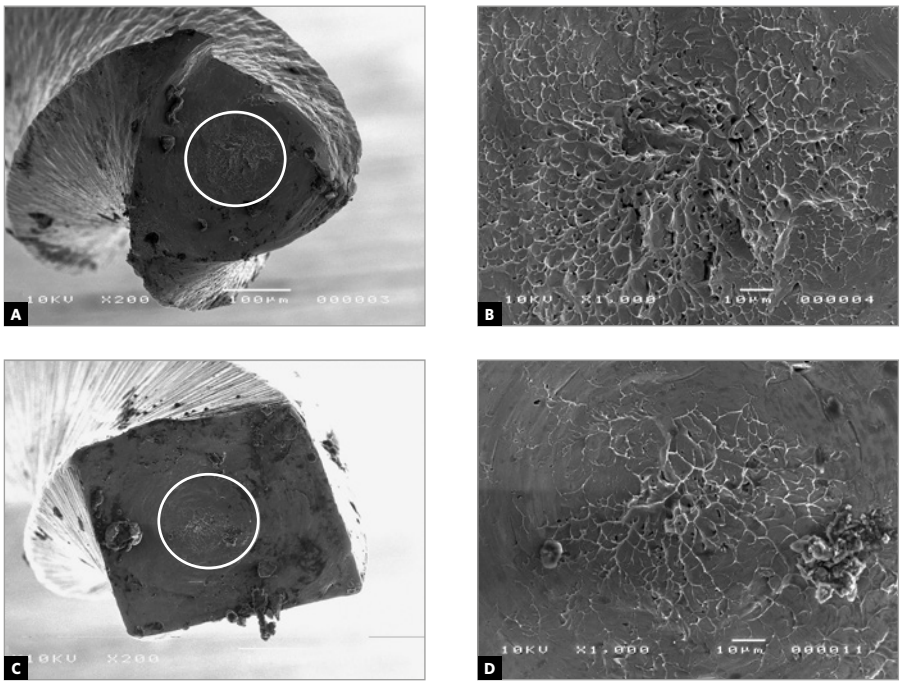

Figura 2. Imagens de microscopia eletrônica de varredura das superfícies fraturadas do X1 BF 25.06 (**A**, **B**) e do WF 25.07 (**C**, **D**) após o teste de torção. Os círculos em **A** e **C** indicam as marcas concêntricas de abrasão, com ampliação de 200x; em **B** e **D**, as marcas concêntricas de abrasão em ampliação de 1.000x, e as ondulações distorcidas perto do centro de rotação, características típicas da falha torcional.

Discussão

A cinemática reciprocante reduz a fratura por fadiga cíclica e torcional dos instrumentos de NiTi durante o preparo de canais curvos ou atrésicos[4,6,8,9]. Diversos fatores podem afetar as propriedades mecânicas dos instrumentos de NiTi, como, por exemplo: o tamanho da ponta, conicidade, *design* da seção transversal, tipo de liga de NiTi e a temperatura do canal radicular[1,2,4-7,12]. Em função disso, os fabricantes propuseram diversas modificações para aumentar a segurança e efetividade dos instrumentos de NiTi durante o preparo do canal, e novos instrumentos foram desenvolvidos[1,2,4,7].

Recentemente, alguns autores demonstraram que a temperatura corporal pode reduzir a resistência à fadiga cíclica dos instrumentos de NiTi[12,14-16]. Assim, a fadiga cíclica dos instrumentos mecânicos de NiTi deveria ser sempre avaliada à temperatura corporal, permitindo simular o seu comportamento mecânico durante o preparo do canal radicular. Klymus et al.[12] relataram que o X1 BF 25.06 apresentou resistência à fadiga cíclica semelhante ao RB 25.08 e WOG 25.07, à temperatura corporal. No entanto, não há nenhum relato da resistência à fadiga torcional do X1 BF 25.06. Ademais, não há dados sobre as propriedades mecânicas do WF 25.07. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a resistência à fadiga cíclica na temperatura corporal e à fadiga torcional do X1 BF25.06 e do WF 25.07.

A metodologia usada nesse estudo foi similar à do estudo de Klymus et al.[12] Foi usado o teste estático de fadiga cíclica porque o dispositivo de fadiga cíclica encontrava-se submerso em água. Além disso, o modelo estático reduz algumas variáveis, como a amplitude axial e a velocidade do movimento, as quais são subjetivas, pois podem ser realizadas de diferentes formas pelos clínicos[19,20]. No entanto, o modelo escolhido para o teste de fadiga cíclica nesse trabalho foi a simulação de canais artificiais de aço inoxidável, como relatado anteriormente[10,12,17]. No presente trabalho, o teste torcional foi feito de acordo com a especificação ISO 3630/1, como em estudos anteriores[10,18]. A distância de 3 mm da ponta foi escolhida porque é o ponto mais suscetível à fratura durante o preparo de canais radiculares estreitos[20]. Ademais, a rotação anti-horária foi usada para todos os instrumentos porque essa é a direção de suas espirais[10,18].

Os resultados preliminares desse estudo mostraram que o X1 BF 25.06 apresentou valores de tempo e NCF

significativamente maiores do que o WF25.07 ($p < 0,05$). Assim, a primeira hipótese nula foi rejeitada. Todos os instrumentos usados nesse estudo tem o mesmo tamanho de ponta (#25); porém, o X1 BF tem conicidade nominal de 0,06 mm/mm e o WF, de 0,07 mm/mm. Foi previamente relatado que os instrumentos com menor conicidade são mais flexíveis e apresentam maior resistência à fadiga cíclica[1,4,20]. Os resultados do presente estudo estão em acordo com os demais estudos aqui relatados. Entretanto, outras características dos instrumentos precisam ser consideradas, como o desenho da seção transversal, diâmetro do núcleo e tratamento térmico.

O desenho da seção transversal e o diâmetro do núcleo podem levar a um maior volume de massa metálica nos instrumentos de NiTi, o que pode afetar sua flexibilidade e a resistência à fadiga cíclica[1,4,19,20]. O X1 BF 25.06 tem seção transversal triangular e o WF 25.07, em forma de paralelogramo. Assim, a configuração da seção transversal dos instrumentos a 5 mm da ponta foi analisada por MEV e sua área foi medida via *software* (AutoCAD, Autodesk Inc, San Rafael, CA)[10,18]. O X1 BF apresentou área de seção transversal (226,680 μm^2) menor do que o WF 25.07 (295,826 μm^2). Estudos anteriores relataram que um volume maior de massa metálica, no ponto de tensão máxima dos instrumentos de NiTi, pode afetar a resistência à fadiga cíclica[1,4,10], o que contribui para a diferença na resistência à fadiga cíclica entre os instrumentos analisados no presente estudo.

Os tratamentos térmicos das ligas de NiTi possuem forte influência no comportamento da transformação martensítica/austenítica[1,7]. A presença de uma maior porcentagem de fase martensítica na liga de NiTi promove mais flexibilidade e maior resistência à fadiga[1,2,7]. O X1 BF e o WF 25.07 são confeccionados por meio de processos térmicos semelhantes aos das tecnologias Blue e Gold, respectivamente. Klymus et al.[12] relataram que os instrumentos feitos com as tecnologias Blue e Gold apresentaram resistência à fadiga cíclica semelhante, à temperatura corporal. Contudo, os resultados desse estudo mostram que o WF 25.07 apresentou menor resistência à fadiga cíclica do que o X1 BF 25.06, à temperatura corporal ($p < 0,05$). A possível explicação para esses resultados diferentes pode estar relacionada ao tratamento térmico do WF 25.07: apesar de ser semelhante ao tratamento térmico do WOG 25.07, o processo usado para fabricar o WF pode induzir arranjos na estrutura cristalina do NiTi diferentes do que o tratamento Gold usado no WOG — o que provavelmente leva a porcentagens mais baixas da fase martensítica e a uma menor flexibilidade. Além disso, instrumentos de NiTi menos flexíveis podem afetar a dissipação da energia requerida para a formação e/ou a propagação de trincas durante o teste de fadiga cíclica[1,2,7].

Nesse estudo, o teste de torção avaliou a carga torcional máxima e a rotação angular para fratura enquanto os instrumentos giravam no sentido anti-horário. O teste de torção avaliou o comportamento torcional do instrumento quando submetido a um alto nível de estresse torcional[4,10]. O segundo resultado desse estudo mostrou que X1 BF 25.06 apresentou menor força de torção quando comparado ao WF 25.07 ($p < 0,05$). Além disso, o X1 BF 25.06 suportou maior rotação angular até a fratura do que o WF 25.07 ($p < 0,05$). Assim, a segunda hipótese nula foi rejeitada. Esses resultados foram, provavelmente, relacionados aos diferentes *designs* de seção transversal, conicidade e tratamentos térmicos da liga de NiTi.

Em uma avaliação suplementar, o *design* da seção transversal dos instrumentos foi capturada em 3D por meio de MEV, e a área da seção transversal foi mensurada via *software* (AutoCAD, Autodesk Inc, San Rafael, CA, EUA) antes do teste de torção[10,18]. O X1 BF 25.06 apresentou área (104,957 μm^2) menor do que o WF 25.07 (139,768 μm^2). Estudos anteriores demonstraram que instrumentos com maior área de seção transversal tendem a apresentar maior resistência à fratura por torção[1,10,21,22,28]. A área da seção transversal pode ser afetada pelo *design*, diâmetro do núcleo e conicidade dos instrumentos[1,20-22]. Além disso, os instrumentos fabricados com as tecnologias Blue e Gold tendem a apresentar semelhante resistência à fratura por torção; no entanto, a tecnologia Blue favorece uma maior rotação angular[10]. Os resultados desse estudo, provavelmente, estão relacionados à associação entre tratamento térmico, maior área de seção transversal e conicidade do WF 25.07, gerando instrumentos menos flexíveis do que o X1 BF 25.06

A análise em MEV mostrou características típicas da fadiga cíclica e torcional para ambos os instrumentos testados: após o teste de fadiga cíclica, todos os instrumentos avaliados mostraram áreas de iniciação de trincas e zonas de sobrecarga, com inúmeras ondulações espalhadas na superfície fraturada; após o teste de torção, os fragmentos apresentaram marcas concêntricas de abrasão e ondulações no centro de rotação[4,9,10,18].

Apesar da cinemática reciprocante promover uma redução significativa na resistência à fadiga cíclica e torcional[8,9], os clínicos devem conhecer as propriedades mecânicas dos instrumentos reciprocantes de NiTi para usá-los com segurança em canais curvos e/ou estreitos. A resistência à fadiga cíclica do X1 BF 25.06 provavelmente garantiria um preparo mais seguro de canais radiculares curvos do que o WF 25.07. No entanto, a maior resistência torcional do WF 25.07 indica que ele poderia ser mais seguro do que o X1 BF 25.06 para uso no preparo de canais estreitos.

Conclusão

Dentro das limitações desse estudo, pode-se concluir que o *design* da seção transversal e os tratamentos térmicos tiveram uma influência significativa nas propriedades mecânicas dos instrumentos de NiTi. O X1 BF 25.06 apresentou a maior resistência à fadiga cíclica e os maiores valores de rotação angular até a fratura, em comparação com o WF 25.07. No entanto, o WF 25.07 apresentou resistência torcional à fratura maior do que o X1 BF 25.06.

Referências

1. Kaval ME, Capar ID, Ertas H. Evaluation of the cyclic fatigue and torsional resistance of novel nickel-titanium rotary files with various alloy properties. J Endod. 2016;42(12):1840-3.
2. Shen Y, Zhou HM, Zheng YF, Peng B, Haapasalo M. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. J Endod. 2013;39(2):163-72.
3. Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, Messer HH. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. J Endod. 2000;26(3):161-5.
4. Pedulla E, Lo Savio F, Boninelli S, Plotino G, Grande NM, La Rosa G, et al. Torsional and cyclic fatigue resistance of a new nickel-titanium instrument manufactured by electrical discharge machining. J Endod. 2016;42(1):156-9.
5. Karatas E, Arslan H, Buker M, Seckin F, Capar ID. Effect of movement kinematics on the cyclic fatigue resistance of nickel-titanium instruments. Int Endod J. 2016;49(4):361-4.
6. Ozyurek T. Cyclic fatigue resistance of Reciproc, WaveOne, and WaveOne Gold nickel-titanium instruments. J Endod. 2016;42(10):1536-9.
7. Zupanc J, Vahdat-Pajouh N, Schafer E. New thermomechanically treated NiTi alloys - a review. Int Endod J. 2018;51(10):1088-103.
8. De-Deus G, Moreira EJ, Lopes HP, Elias CN. Extended cyclic fatigue life of F2 ProTaper instruments used in reciprocating movement. Int Endod J. 2010;43(12):1063-8.
9. Kim HC, Kwak SW, Cheung GS, Ko DH, Chung SM, Lee W. Cyclic fatigue and torcional resistance of two new nickel-titanium instruments used in reciprocation motion: Reciproc versus WaveOne. J Endod. 2012;38(4):541-4.
10. Alcalde MP, Duarte MAH, Bramante CM, Vasconselos BC, Tanomaru-Filho M, Guerreiro-Tanomaru JM, et al. Cyclic fatigue and torcional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. Clin Oral Investig. 2018;22(4):1865-71.
11. Keskin C, Inan U, Demiral M, Keles A. Cyclic fatigue resistance of Reciproc Blue, Reciproc, and WaveOne Gold reciprocating instruments. J Endod. 2017;43(8):1360-3.
12. Klymus ME, Alcalde MP, Vivan RR, So MVR, de Vasconselos BC, Duarte MAH. Effect of temperature on the cyclic fatigue resistance of thermally treated reciprocating instruments. Clin Oral Investig. 2019 July;23(7):3047-52.
13. Silva E, Vieira VTL, Hecksher F, Oliveira MRS, Antunes HS, Moreira EJL. Cyclic fatigue using severely curved canals and torsional resistance of thermally treated reciprocating instruments. Clin Oral Investig. 2018;22(7):2633-8.
14. Dosanjh A, Paurazas S, Askar M. The effect of temperature on cyclic fatigue of nickel-titanium rotary endodontic instruments. J Endod. 2017;43(5):823-6.
15. Vasconcelos RA, Murphy S, Carvalho CA, Govindjee RG, Govindjee S, Peters OA. Evidence for reduced fatigue resistance of contemporary rotary instruments exposed to body temperature. J Endod. 2016;42(5):782-7.
16. Jamleh A, Yahata Y, Ebihara A, Atmeh AR, Bakhsh T, Suda H. Performance of NiTi endodontic instrument under different temperatures. Odontology. 2016;104(3):324-8.
17. Marks Duarte P, Barcellos da Silva P, Alcalde MP, Vivan RR, Rosa RAD, Duarte MAH, et al. Canal transportation, centering ability, and cyclic fatigue promoted by twisted file adaptive and navigator EVO instruments at different motions. J Endod. 2018;44(9):1425-9.
18. Alcalde MP, Tanomaru-Filho M, Bramante CM, Duarte MAH, Guerreiro-Tanomaru JM, Camilo-Pinto J, et al. Cyclic and torsional fatigue resistance of reciprocating single files manufactured by different nickel-titanium alloys. J Endod. 2017;43(7):1186-91.
19. Plotino G, Grande NM, Cordaro M, Testarelli L, Gambarini G. A review of cyclic fatigue testing of nickel-titanium rotary instruments. J Endod. 2009;35(11):1469-76.
20. Capar ID, Kaval ME, Ertas H, Sen BH. Comparison of the cyclic fatigue resistance of 5 different rotary pathfinding instruments made of conventional nickel-titanium wire, M-wire, and controlled memory wire. J Endod. 2015;41(4):535-8.
21. Elsaka SE, Elnaghy AM, Badr AE. Torsional and bending resistance of WaveOne Gold, Reciproc and Twisted File Adaptive instruments. Int Endod J. 2017;50(11):1077-83.
22. Baek SH, Lee CJ, Versluis A, Kim BM, Lee W, Kim HC. Comparison of torcional stiffness of nickel-titanium rotary files with different geometric characteristics. J Endod. 2011;37(9):1283-6.

© 2020 Dental Press Endodontics