

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIDADE DE ENSINO SUPERIOR DOM BOSCO
CURSO DE ODONTOLOGIA

MARINA FERNANDA DE LIMA SÁ

**ENSAIO MECÂNICO DE TORÇÃO DOS INSTRUMENTOS PROTAPER
UNIVERSAL E PROTAPER GOLD**

São Luís

2020

MARINA FERNANDA DE LIMA SÁ

**ENSAIO MECÂNICO DE TORÇÃO DOS INSTRUMENTOS PROTAPER
UNIVERSAL E PROTAPER GOLD**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Odontologia do Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Odontologia.

Orientador(a): Prof.(a) Dr. Alex Sandro Mendonça Leal

São Luís

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Centro Universitário - UNDB / Biblioteca

Sá, Marina Fernanda de Lima

Ensaio mecânico de torção dos instrumentos protaper universal e protaper gold. / Marina Fernanda de Lima Sá. __ São Luís, 2020.
39f.

Orientador: Prof. Dr. Alex Sandro Mendonça Leal.

Monografia (Graduação em Odontologia) - Curso de Odontologia
– Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco –
UNDB, 2020.

1. Instrumentos endodônticos. 2. Protaper universal. 3. Protaper gold. I. Título.

CDU 616.34:615.47

MARINA FERNANDA DE LIMA SÁ

**ENSAIO MECÂNICO DE TORÇÃO DOS INSTRUMENTOS PROTAPER
UNIVERSAL E PROTAPER GOLD**

Monografia apresentada ao Curso de Odontologia do Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Odontologia.

Aprovada em __/__/2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alex Sandro Mendonça Leal (Orientador)

Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco

Prof. Dra. Érica Martins Valois

Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco

Prof. Karinne Travassos Pinto Carvalho

Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco

Aos meus pais, Luciene Braz e Antônio Pádua, por todo amor, dedicação, pelo exemplo de coragem e simplicidade em seus propósitos. A ajuda de vocês desde o início da minha formação foi e será sempre a minha maior base.

AGRADECIMENTOS

À DEUS, que me deu força, coragem e determinação para vencer todos os obstáculos e dificuldades enfrentadas durante toda essa jornada.

Aos meus pais, Luciene e Antônio, com eles compartilho a realização deste trabalho que é um dos momentos mais importantes da minha vida.

Aos meus irmãos Maisa Vitória e Marco Antônio, pelo apoio e por estarem sempre ao meu lado.

Ao meu orientador, professor Alex Mendonça, por compartilhar seu vasto conhecimento. Obrigada pelo encorajamento e ajuda, por toda disponibilidade, paciência e sugestões que foram de grande importância para a realização deste trabalho.

A todos os meus amigos de curso que contribuíram para o meu crescimento e aprendizagem.

RESUMO

Os instrumentos endodônticos de Níquel e Titânio (NiTi) sofreram grandes modificações em suas características com a finalidade melhorar as propriedades mecânicas e assim proporcionar melhor desempenho clínico. Este trabalho teve o objetivo de comparar a resistência torcional dos instrumentos Protaper Gold e Protaper Universal através do ensaio de torção. A resistência torsional foi realizada em um dispositivo sob medida (ISSO 3630-1), onde um torque foi aplicado para mensurar a variação do ângulo de torção e o valor do torque até a fratura do instrumento. Dez instrumentos Protaper Universal F3 (PTU F3) e dez instrumentos Protaper Gold F3 (PTG F3) foram selecionados para o ensaio e submetidos ao teste de análise de variância (ANOVA) e Student-Newman-Keuls (SNK) com nível de significância de 5%. Após os resultados, o valor de torque máximo até à fratura seguiu a seguinte ordem: PTG F3 > PTU F3 ($P < 0,05$); quanto ao ângulo de torção, o PTU F3 foi superior ao PTG F3, porém sem diferença estatística significativa. Por apresentar maior torque máximo em torção, o instrumento PTG F3 pode ser recomendado para a instrumentação de um canal severamente curvo, enquanto o PTU F3, que revelou maior ângulo de torção pode ser mais indicado na instrumentação de um canal atresicos retos ou com curvatura suave.

Palavras chaves: Liga de níquel-titânio. fratura por torção. ProTaper Universal. ProTaper Gold.

ABSTRACT

Nickel and Titanium (NiTi) endodontic instruments have undergone major changes in their characteristics in order to improve mechanical properties and thus provide better clinical performance. This work aimed to compare the torsional resistance of Protaper Gold and Protaper Universal instruments through the torsion test. The torsional resistance was performed in a custom-made device (ISO 3630-1), where a torque was applied to measure the variation of the torsion angle and the torque value until the instrument fractured. Ten Protaper Universal F3 instruments (PTU F3) and ten Protaper Gold F3 instruments (PTG F3) were selected for the test and subjected to the analysis of variance (ANOVA) and Student-Newman-Keuls (SNK) test with a significance level of 5 %. After the results, the maximum torque value until fracture followed the following order: PTG F3 > PTU F3 ($P < 0.05$); as for the torsion angle, PTU F3 was superior to PTG F3, but with no statistically significant difference. As it has a higher maximum torque in torsion, the PTG F3 instrument can be recommended for the instrumentation of a severely curved channel, while the PTU F3, which revealed a greater torsion angle, may be more indicated for the instrumentation of a straight or gently curved atresia channel.

Key words: Nickel-titanium alloy. torsion fracture. Universal ProTaper. ProTaper Gold.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 – Dispositivo empregado no ensaio de torção.....	14
Figura 2 – Visor do torquímetro mostrando a velocidade, torque e o ângulo máximo de torção	15
Tabela 1 – Divisão dos instrumentos realizados no ensaio mecânico de torção.....	14
Tabela 2 – Média e desvio padrão ($\pm dp$) do torque máximo (Nmm) e do ângulo máximo (graus) em torção dos instrumentos PTU F3 e PTG F3.....	16

LISTA DE ABREVIATURAS

ANOVA	Análise de variância
CR	Canal Radicular
mm	Milímetros
MFC	Memória de Forma Controlada
N	Newtons
Nmm	Newtons por milímetro
NiTi	Níquel-Titânio
PTG	ProTaper Gold
PTU	ProTaper Universal
rpm	Rotações por Minuto
SE	Superelasticidade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. MATERIAIS E MÉTODOS	12
2.1 Instrumentos	12
2.2 Ensaio mecânico de torção	13
2.3 Análise estatística	15
3 RESULTADOS	16
4 DISCUSSÃO	17
5 CONCLUSÃO	21
REFERÊNCIAS	22
APENDICE A	25

1 INTRODUÇÃO

As limas endodônticas de aço inoxidável ainda são bastante utilizadas na instrumentação de canais radiculares (CR), porém, em situações de curvaturas e atresias podem provocar iatrogenias, como o transporte apical, grandes desgastes, desvios, perfurações e fratura do instrumento (BERGMANS et al., 2003; KURNET et al., 2010). A busca por técnicas capazes de vencer esse desafio proporcionou a introdução da liga de níquel e titânio (NiTi) e conseqüentemente, uma melhora substancial na instrumentação endodôntica, com preparos mais centralizados e com maior ampliação, além da diminuição de iatrogenias que colocam em risco o sucesso do tratamento (YOSHIMINE; ONO; AKAMINE, 2005; GAO et al., 2012).

A incorporação da liga de NiTi possibilitou o emprego de motores elétricos, tanto com o movimento de giro contínuo à direita como o reciprocante (YARED, 2004; ELNAGHY & ELSAKA, 2016) na ampliação de CR. A maior flexibilidade da liga de NiTi devido a superelasticidade permite formatar um canal radicular de forma cônica desejável, porém, ainda permanece o risco de fratura por torção (PETERS, 2004), que ocorre quando a ponta do instrumento fica presa no canal, enquanto sua haste permanece girando. Deste modo, se o limite elástico do metal for extrapolado, o instrumento sofre deformação plástica, que pode ser acompanhada por fratura (BAHIA; BUONO, 2005).

Alternativas surgiram na tentativa de melhorar as propriedades mecânicas dos instrumentos endodônticos de NiTi convencional, como tratamentos termomecânicos da superfície no intuito de melhorar a resistência à fratura (CIMIS; BOYER; PELLEU, 1988) e como exemplo destas melhorias, estão a liga M-wire e a liga com memória de forma controlada (MFC).

No mercado há inúmeros sistemas mecanizados desenvolvidos pelos fabricantes, assim, vale destacar o sistema rotatório Protaper, largamente empregado para instrumentação de CR (PETERS, 2004). Este sistema de giro contínuo a direita apresentou mudanças ao longo do tempo, como as versões do sistema ProTaper Universal (PTU) e ProTaper Gold (PTG). O PTU seria a evolução do sistema inicial, fabricado com liga de NiTi convencional e o PTG representa a melhoria do sistema PTU, principalmente no que diz respeito ao tratamento térmico da superfície que permitiu o efeito MFC (GAO et al., 2010).

Essa nova geração de instrumentos que são submetidos a um tratamento termomecânico especial tem como principal finalidade minimizar a fratura, fato que acontece com instrumentos de NiTi convencional, que apresentam fio superelástico usinado (GAO et al., 2010). Outro ponto de destaque mostrado pela literatura especializada é que instrumentos mecanizados que utilizam o movimento rotatório possuem maior risco de fratura (GLOSSEN et al., 1995; ELNAGHY & ELSAKA, 2016), mesmo sem apresentar qualquer tipo de deformação plástica (PRUETT; CLEMENT; CARNES, 1997).

Portanto, este trabalho tem o objetivo de avaliar e comparar através do movimento de giro contínuo à direita, a resistência torsional dos instrumentos PTG e PTU através do teste de torção.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 instrumentos

Para esse estudo foram selecionadas duas gerações do sistema rotatório ProTaper (Dentsply Sirona, Tulsa, OK, EUA), totalizando 20 instrumentos: 10 PTU F3 e 10 PTG F3. Todos os instrumentos apresentavam dimensões nominais de diâmetro em D₀ de 0,30 milímetros (mm) e 25 mm de comprimento.

O sistema PTU é constituído por dois tipos de instrumentos, os modeladores (Sx, S1 e S2) e os de acabamento (F1, F2, F3, F4 e F5) (AGUIAR; CÂMARA, 2008; HIEAWY et al., 2015), sendo fabricado nas versões manual e mecanizado. Os instrumentos de modelagem SX, S1 e S2 apresentam a ponta com extremidade truncada ou arredondada e em forma de cone circular. A maior flexibilidade na porção apical ocorre devido à conicidade crescente no sentido de D16 (VIEIRA et al., 2008).

O ângulo de inclinação das hélices varia entre 30° e 35°, com seção reta transversal triangular convexa com três arestas de corte na forma de filetes. O canal helicoidal aumenta de D1 para D16. A conicidade variada da haste de corte helicoidal proporciona a modelagem do canal no sentido coroa-ápice, quando utilizado no comprimento de trabalho (LOPES et al., 2010).

Os instrumentos de acabamento (F1, F2, F3, F4 e F5) são utilizados para completar o segmento apical do CR e para ampliar progressivamente, a forma na metade desse segmento (AGUIAR; CÂMARA, 2008). Os 3 mm apicais apresentam conicidade constante e depois decrescem no sentido de D16, possibilitando alargar o segmento apical e ao mesmo tempo, aumentar a flexibilidade do instrumento no terço coronário.

O ângulo de inclinação das hélices varia de 30° a 35° e não possuem guia radial, com o desenho das arestas de corte em filetes. A seção reta longitudinal de trabalho revela núcleo cilíndrico e canais helicoidais com profundidade que cresce de D1 para D16 (LOPES et al., 2010).

Os instrumentos F3, F4 e F5 possuem seções retas transversais com duas formas ao longo da haste helicoidal. O perfil côncavo de 12 mm a partir da ponta da haste helicoidal reduz a área do núcleo e da seção reta transversal, o que

promove mais flexibilidade, porém, a partir de D12, o perfil até D16 se revela convexo. Na parte de trabalho, a seção reta transversal mostra um núcleo cilíndrico e canais helicoidais com profundidade crescente de D1 para D16 (LOPES et al., 2010).

Entretanto, em decorrência da conicidade crescente nos instrumentos de acabamento, o emprego desses instrumentos torna-se limitado a canais radiculares curvos e achatado, devido ao elevado risco de fratura do instrumento, além de perfuração. A fim de superar essas limitações foram realizadas alterações na seção transversal e no ângulo de transição entre a ponta e as hélices cortantes do instrumento (BERGMANS et al., 2003).

O instrumento de acabamento F3 possui anel azul com diâmetro D_0 igual 0,30 mm e o diâmetro D16 igual a 1,13 mm. A parte de trabalho possui 16 mm e o comprimento útil varia entre 21, 25 e 31 mm. De D1 a D3, a conicidade é constante de 0,09 mm/mm, e a partir de D4 (0,06 mm/mm), a conicidade decresce para 0,04 mm/mm até D12 e a partir de D13 até D16, se mantém constante em 0,03 mm/mm. Os instrumentos PTG apresentam as mesmas características morfológicas do PTU, ou seja, seção reta triangular convexa, conicidade progressiva, três instrumentos de modelagem (SX, S1 E S2) e cinco instrumentos de acabamento (F1, F2, F3, F4 E F5) (ELNAGHY & ELSAKA, 2016; KARATAS et al., 2016; DENTSPLY TULSA, 2018).

A diferença está na natureza da liga de NiTi empregada. Os instrumentos PTU são fabricados com liga NiTi convencional, enquanto os instrumentos PTG empregam uma liga NiTi GOLD com MFC obtida por tratamento térmico (UYGUN et al., 2016; DENTSPLY TULSA, 2018).

Antes da realização do ensaio mecânico, os instrumentos de cada sistema ProTaper foram aleatoriamente selecionados e inspecionados através de um estereomicroscópio binocular (Stemi 2000 – C, Carl Zeiss do Brasil Ltda., SP), com câmera acoplada para aquisição de imagem Megapixel Firewire Câmera, modelo PL-A662, (Pixelink, Ottawa, ON, Canadá), empregando o programa Axio Vision Rel 4.4 (Carl Zeiss do Brasil Ltda., SP). Essa etapa permitiu observar a presença de defeitos na fabricação.

2.2 Ensaio Mecânico de Torção

Dez instrumentos selecionados de cada sistema foram submetidos ao ensaio mecânico de torção (Tabela 1), realizado no Laboratório de Ensaio Mecânicos da Universidade do Grande Rio (UNIGRANRIO, Duque de Caxias, RJ).

Tabela 1. Divisão dos instrumentos realizado no ensaio de torção.

Instrumento	Número
PTU F3	10
PTG F3	10
Total	20

Neste ensaio, avaliou-se o torque máximo em torção e o ângulo máximo de torção suportado pelo instrumento, até a fratura. Por meio de um dispositivo produzido sob medida, segundo a ISO 3630-1 (SILVA et al., 2018), uma das extremidades do instrumento foi fixada e um torque foi aplicado na extremidade oposta, mensurando a variação do ângulo de torção e o valor do torque aplicado. Assim, estimou-se a força de torção final e o ângulo de rotação do instrumento. Cada instrumento foi fixado a 3 mm da sua ponta por uma morsa de alumínio conectada a uma célula de carga sensível ao torque e a haste do instrumento fixada em um mandril específico no lado oposto, acionado por um motor (figura 1).

Em temperatura ambiente de 37°C, cada instrumento foi girado no sentido horário a uma velocidade de 2 rotações por minuto (rpm), até ocorrer sua ruptura. A carga de torque (N/mm) e o ângulo de rotação foram monitorados continuamente usando um torquímetro (ODEME, Luzerna, SC). A resistência torsional final, a velocidade e o ângulo máximo de torção até a fratura foram fornecidos por meio de um *software* específico (ODEME Analysis TT, Luzerna, SC) (Figura 2).



Figura 1. Dispositivo empregado no ensaio de torção



Figura 2. Visor do torquímetro mostrando a velocidade, torque e o ângulo máximo de torção.

2.3 Análise Estatística

Após a submissão dos dados obtidos ao teste de normalidade Kolgomorov-Smirnov para verificar a distribuição dos dados, empregou-se o teste de análise de variância (ANOVA) e de Student-Newman-Keuls (SNK) com nível de significância de 5% para análise dos grupos envolvidos no estudo.

3 RESULTADOS

Os resultados obtidos nos ensaios foram analisados e confrontados entre si buscando estabelecer uma correlação entre as propriedades mecânicas exibidas pelos instrumentos PTU F3 e PTG F3 e sua resistência à fratura por torção.

A média e o desvio padrão do torque máximo (Nmm) e do ângulo máximo em torção (medido em graus) para a fratura são apresentados na tabela 2.

O PTU F3 apresentou valores maiores de ângulo máximo em torção em relação ao PTG F3, essa diferença não foi estatisticamente significativa.

O valor de torque máximo em torção do PTG F3 foi significativamente superior, quando comparado ao PTU F3 ($P < 0,05$).

Tabela 2. Média e desvio padrão (\pm dp) do torque máximo (Nmm) e do ângulo máximo (graus) em torção dos instrumentos PTU F3 e PTG F3.

Variáveis	Instrumentos		P
	PTU F3	PTG F3	
	média \pm dp	média \pm dp	
Torque máximo (Nmm)	2,0 \pm 0,3 ^a	2,3 \pm 0,3 ^c	<0,001
Ângulo máximo em torção (graus)	655,7 \pm 185,7 ^a	642,2 \pm 79,4 ^a	<0,001

Letras minúsculas diferentes significam diferenças estatisticamente significantes entre os grupos ($P < 0,05$) através do teste student-Newman-Keuls.

4 DISCUSSÃO

O aprimoramento alcançado nos últimos anos com o objetivo de melhorar a performance das propriedades mecânicas, os instrumentos de NiTi sofreram algumas mudanças, como modificações no desenho, seção transversal e no surgimento de diferentes ligas na confecção desta importante ferramenta utilizada por endodontistas (DUKE et al. 2015; ELNAGHY & ELSAKA, 2016). Uma dessas novidades, o tratamento térmico da superfície, permitiu o desenvolvimento de instrumentos de maior resistência à fadiga (SHEN et al., 2013), porém poucas mudanças relevantes foram obtidas em relação à performance torsional (ARIAS et al., 2017).

Apesar da literatura apresentar estudos avaliando o comportamento mecânico de cada um desses dois sistemas, ainda existem poucos trabalhos comparando-os entre si. Portanto, este estudo se propôs a avaliar e comparar a resistência torsional dos instrumentos PTU e PTG, a fim de ajudar o profissional a selecionar o instrumento mais seguro e eficaz, para as variadas condições anatômicas do sistema de CR.

O resultado do ensaio de torção deste estudo revelou que o valor de torque máximo até a fratura para os instrumentos PTG F3 foram significativamente maiores em relação ao instrumento PTU F3.

Os recém-lançados instrumentos do sistema PTG, com MFC apresentam características geométricas idênticas ao PTU, mas apesar disso e do volume na região do teste que fixa os instrumentos a 3 mm da ponta iguais ($D_3=0,57$ mm), obtiveram desempenhos diferentes, resultado semelhante também encontrado na literatura (GAGLIARD et al., 2015). Isto deve-se provavelmente ao tratamento termomecânico de superfície dos instrumentos com MFC, que maximizou a resistência torsional em relação ao instrumento PTU F3 confeccionado com liga de NiTi convencional.

Em outro estudo, Arias et al. (2017), além de verificar a melhor performance torsional de instrumentos com MFC em relação à liga convencional, concluiu também que esta tecnologia patenteada da liga de NiTi apresentou algumas outras características melhoradas, como menor transporte e maior quantidade de dentina remanescente dos CR.

Os resultados deste estudo foram corroborados na literatura especializada, onde sistemas fabricados com a liga com MFC apresentaram maior resistência torsional quando comparado a liga de NiTi convencional, apesar de apresentar um torque máximo até a fratura semelhante (CASPER et al., 2011; PETERS et al., 2012; CHANG et al., 2016).

Em contrapartida, utilizando o mesmo ensaio para comparar instrumentos F2 do sistema PTU e PTG, concluiu-se que a maior resistência à fadiga torsional dos instrumentos PTU está relacionado a elevada temperatura final de austenita e ao ambiente de dois estágios de transformação que o sistema PTG é processado, pois a liga com MFC possui maior flexibilidade e módulo de elasticidade menor que a liga austenita. Como consequência, os instrumentos de NiTi martensíticos suportam maior deformação com um torque similar aos instrumentos de NiTi austeníticos (ELNAGHY & ELSAKA, 2016).

Mesmo assim, Zupanc et al (2018) recomendam a utilização da liga convencional em canais de pequeno diâmetro com a utilização prévia do Glidepath como forma de compensar a menor resistência ao torque em canais radiculares atrésicos, pois o torque aplicado ao instrumento depende principalmente da força apical acionada e do contato com as paredes do canal, fato que torna relevante o volume do canal e o diâmetro do instrumento (ARIAS et al., 2017).

Após analisar a resistência torsional de instrumentos PTG e PTU, Kaval et al. (2016) encontraram valores máximos de torque até a fratura, não apresentando diferença estatisticamente significativa ($P > 0,05$). Então, concluiu-se que os instrumentos PTG por exibir maior resistência à torção, teriam maior indicação no tratamento dos CR calcificados e atrésicos. Também reforçando os resultados desta pesquisa, após avaliação da resistência torsional entre instrumentos rotatórios do sistema PTG e PTU, a conclusão foi que embora os sistemas PTG e PTU apresentem semelhantes características na seção transversal, os instrumentos PTG apresentaram maior resistência torsional que os instrumentos PTU e a principal explicação seria as propriedades da liga com MFC.

Outro estudo encontrado na literatura opõe-se aos resultados encontrados nesta pesquisa, onde foi comparado a resistência à fratura torsional de instrumentos F2 PTU e PTG. Assim, concluiu-se que os instrumentos PTU foram mais resistentes à fratura torsional que os instrumentos do sistema PTG ($P < 0.001$) (OTSUKA; REN, 2005).

Embora o PTG e o PTU tenham um design de seção transversal semelhante, o PTG teve uma resistência à torção significativamente menor. Isso pode ser atribuído ao comportamento de transformação em 2 estágios e à alta temperatura final de austenita, a partir das quais o PTG é produzido, com este material possuindo maior flexibilidade (OTSUKA; REN, 2005; HIEAWY et al., 2015) e consequente módulo de elasticidade menor que o o instrumento austenítico (MIYAI et al., 2006; PARK et al., 2010). Como consequência, supõe-se que a liga de NiTi martensita permite maior quantidade de deformação com um torque similar à liga austenita (ELNAGHY & ELSAKA, 2016).

Estudos revelaram que instrumentos martensíticos têm um torque máximo menor até a fratura em comparação ao instrumento de NiTi convencional (CASPER et al., 2011; WYCOFF; BERZINS, 2012; CHOI et al., 2016), opondo-se aos resultados desta pesquisa.

Em relação ao ângulo de torção, os resultados mostraram que os instrumentos do sistema PTU quando comparado ao sistema PTG, mostraram desempenho superior, porém, sem diferença estatística significativa ($P > .05$). As ligas de NiTi tratadas termomecanicamente são mais flexíveis, com melhor resistência à fadiga e maior ângulo de torção até a fratura quando comparado a liga de NiTi convencional (ZUPANC et al., 2018).

Instrumentos endodônticos feitos de ligas austeníticas possuem propriedades SE devido à transformação por martensita induzida por tensão e, consequentemente, tendem a retornar à sua forma original após a deformação. Em contraste, os instrumentos martensíticos podem ser facilmente deformados devido à reorientação das variantes de martensita e mostram um efeito de memória de forma quando aquecidos (ZUPANC et al., 2018).

Em relação à fratura torsional, os instrumentos martensíticos apresentam um maior ângulo de torção até a fratura em comparação ao instrumento de NiTi convencional (CASPER et al., 2011; WYCOFF; BERZINS, 2012; CHOI et al., 2016).

Outro estudo demonstrou que os instrumentos com MFC exibiram um maior ângulo de torção até a fratura do que a liga de NiTi convencional, mas o torque máximo foi quase igual (CASPER et al., 2011; PETERS et al., 2012; CHANG et al., 2016).

Também comparando instrumentos F2 PTG e PTU, Elnaghy & Elsaka (2016) observaram a maior resistência ao *stress* torsional dos instrumentos do sistema PTG ($P < 0,001$).

Após analisar a resistência torsional de instrumentos PTG e PTU, Kaval et al. (2016) encontraram os ângulos de torção dos instrumentos variando em ordem crescente, da seguinte maneira: instrumentos PTU < PTG ($P < .001$).

Alqedairi et al. (2019) concluíram que os novos instrumentos PTG não apresentaram melhoras significantes em relação à resistência torsional quando comparado aos instrumentos PTU, evidenciando que o tratamento termomecânico da liga destes instrumentos não propiciou superioridade sobre a liga convencional.

De uma forma geral e de acordo com a literatura especializada, podemos assimilar que os instrumentos com MFC apresentam maior ângulo de torção até a fratura com um torque máximo menor em relação aos instrumentos confeccionados com liga de NiTi convencional (ZUPANC et al., 2018).

Diferente do PTU, não há dados sobre o comportamento torsional do sistema PTG, por isso recomenda-se usar o mesmo torque do PTU, porém, talvez seja necessário estudos *in vitro* para sugerir o emprego clínico correto e seguro (ARIAS et al., 2017). Neste ensaio, o valor médio de torque até a fratura foi de 2,3 N/mm, conforme demonstrado na tabela 2.

Os resultados conflitantes encontrados na literatura especializada podem ser explicados a metodologias diferentes, principalmente no que diz respeito ao dispositivo diferente da especificação ISO 3630-1, empregado neste ensaio.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos no presente estudo chegou-se à conclusão que o instrumento PTG F3 apresenta valor de torque máximo em torção significativamente superior ao instrumento PTU F3. Em relação ao ângulo de torção, apesar do melhor desempenho do PTU F3 em comparação com o PTG F3, a diferença não foi estatisticamente significativa. Portanto, em canais atrésicos com curvaturas suaves, a indicação recai sobre o PTU F3 (NiTi convencional), que apresentou maior ângulo de torção.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, Carlos M.; CÂMARA, Andréa C. Radiological evaluation of the morphological changes of root canals shaped with ProTaper™ for hand use and the ProTaper™ and RaCe™ rotary instruments. **Australian Endodontic Journal**, v. 34, n. 3, p. 115-119, 2008.
- ALQEDAIRI, Abdullah *et al.* Torsional resistance of three ProTaper rotary systems. **BMC oral health**, v. 19, n. 1, p. 124, 2019.
- ARIAS, Ana *et al.* Torsional performance of ProTaper Gold rotary instruments during shaping of small root canals after 2 different glide path preparations. **journal of endodontics**, v. 43, n. 3, p. 447-451, 2017.
- BAHIA, Maria Guiomar A.; BUONO, Vicente Tadeu Lopes. Decrease in the fatigue resistance of nickel-titanium rotary instruments after clinical use in curved root canals. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology**, v. 100, n. 2, p. 249-255, 2005.
- BERGMANS, Lars *et al.* Progressive versus constant tapered shaft design using NiTi rotary instruments. **International Endodontic Journal**, v. 36, n. 4, p. 288-295, 2003.
- CASPER, Rhett B. *et al.* Comparison of autoclaving effects on torsional deformation and fracture resistance of three innovative endodontic file systems. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 11, p. 1572-1575, 2011.
- CHANG, S. W. *et al.* Cyclic fatigue resistance, torsional resistance, and metallurgical characteristics of V taper 2 and V taper 2H rotary NiTi files. **Scanning**, v. 38, n. 6, p. 564-570, 2016.
- CHOI, JinWook *et al.* Fracture resistance of K3 nickel-titanium files made from different thermal treatments. **Bioinorganic chemistry and applications**, v. 2016, 2016.
- CIMIS, Gerald M.; BOYER, Thomas J.; PELLEU JR, George B. Effect of three file types on the apical preparations of moderately curved canals. **Journal of endodontics**, v. 14, n. 9, p. 441-444, 1988.
- DENTSPLY TULSA (2018). **The Protaper Gold Brochure**. Available at: http://www.tulsadentalspecialties.com/Libraries/Tab_Content_-_Endo_Access_Shaping/Brochure_for_Protaper_Gold.sflb.ashx.
- DUKE, Frederic *et al.* Cyclic fatigue of ProFile Vortex and Vortex Blue nickel-titanium files in single and double curvatures. **Journal of endodontics**, v. 41, n. 10, p. 1686-1690, 2015.
- ELNAGHY, A. M.; ELSAKA, S. E. Mechanical properties of ProTaper Gold nickel-titanium rotary instruments. **International Endodontic Journal**, v. 49, n. 11, p. 1073-1078, 2016.

GAGLIARDI, J. et al. Avaliação das características de modelagem do ProTaper Gold, ProTaper NEXT e ProTaper Universal em canais curvos. **J Endod.** v. 41: p. 1718-24, 2015.

GAO, Yong et al. Effects of raw material and rotational speed on the cyclic fatigue of ProFile Vortex rotary instruments. **Journal of endodontics**, v. 36, n. 7, p. 1205-1209, 2010.

GAO, Yong et al. Evaluation of the impact of raw materials on the fatigue and mechanical properties of ProFile Vortex rotary instruments. **Journal of endodontics**, v. 38, n. 3, p. 398-401, 2012.

GLOSSEN, Charles R. et al. A comparison of root canal preparations using Ni-Ti hand, Ni-Ti engine-driven, and K-Flex endodontic instruments. **Journal of endodontics**, v. 21, n. 3, p. 146-151, 1995.

HIEAWY, Ahmed et al. Phase transformation behavior and resistance to bending and cyclic fatigue of ProTaper Gold and ProTaper Universal instruments. **Journal of endodontics**, v. 41, n. 7, p. 1134-1138, 2015.

KARATAŞ, Ertuğrul et al. Incidence of dentinal cracks after root canal preparation with ProTaper Gold, Profile Vortex, F360, Reciproc and ProTaper Universal instruments. **International endodontic journal**, v. 49, n. 9, p. 905-910, 2016.

KAVAL, Mehmet Emin; CAPAR, Ismail Davut; ERTAS, Hüseyin. Evaluation of the cyclic fatigue and torsional resistance of novel nickel-titanium rotary files with various alloy properties. **Journal of Endodontics**, v. 42, n. 12, p. 1840-1843, 2016.

KUNERT, Gustavo Golgo et al. Analysis of apical root transportation associated with ProTaper Universal F3 and F4 instruments by using digital subtraction radiography. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 6, p. 1052-1055, 2010

LOPES, Hélio P. et al. Effects of electropolishing surface treatment on the cyclic fatigue resistance of BioRace nickel-titanium rotary instruments. **Journal of endodontics**, v. 36, n. 10, p. 1653-1657, 2010.

MIYAI, K. et al. Influence of phase transformation on the torsional and bending properties of nickel–titanium rotary endodontic instruments. **International Endodontic Journal**, v. 39, n. 2, p. 119-126, 2006.

OTSUKA, Kazuhiro; REN, Xiabing. Physical metallurgy of Ti–Ni-based shape memory alloys. **Progress in materials science**, v. 50, n. 5, p. 511-678, 2005

PARK, Su-Young et al. Dynamic torsional resistance of nickel-titanium rotary instruments. **Journal of endodontics**, v. 36, n. 7, p. 1200-1204, 2010.

PETERS, Ove A. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. **Journal of endodontics**, v. 30, n. 8, p. 559-567, 2004.

PETERS, Ove A. et al. An in vitro assessment of the physical properties of novel Hyflex nickel–titanium rotary instruments. **International endodontic journal**, v. 45, n. 11, p. 1027-1034, 2012.

PRUETT, John P.; CLEMENT, David J.; CARNES JR, David L. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. **Journal of endodontics**, v. 23, n. 2, p. 77-85, 1997.

SHEN, Y. *et al.* H y F lex nickel–titanium rotary instruments after clinical use: metallurgical properties. **International Endodontic Journal**, v. 46, n. 8, p. 720-729, 2013.

SILVA, Emmanuel João Nogueira Leal *et al.* Cyclic and torsional fatigue resistance of XP-endo Shaper and TRUShape instruments. **Journal of endodontics**, v. 44, n. 1, p. 168-172, 2018.

UYGUN, AD. *et al.* Variações na resistência cíclica à fadiga entre os instrumentos ProTaper Gold, ProTaper Next e ProTaper Universal em diferentes níveis. **Int Endod J.** v 49: p.494-9, 2016.

VIEIRA, E. P. *et al.* Influence of multiple clinical use on fatigue resistance of ProTaper rotary nickel-titanium instruments. **International endodontic journal**, v. 41, n. 2, p. 163-172, 2008.

WYCOFF, Reid C.; BERZINS, David W. An in vitro comparison of torsional stress properties of three different rotary nickel-titanium files with a similar cross-sectional design. **Journal of Endodontics**, v. 38, n. 8, p. 1118-1120, 2012.

YARED, Ghassan. In vitro study of the torsional properties of new and used ProFile nickel titanium rotary files. **Journal of Endodontics**, v. 30, n. 6, p. 410-412, 2004.

YOSHIMINE, Y.; ONO, M.; AKAMINE, A. The shaping effects of three nickel-titanium rotary instruments in simulated S-shaped canals. **Journal of endodontics**, v. 31, n. 5, p. 373-375, 2005.

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.

APÊNDICE

APÊNCICE A – Artigo Científico

Ensaio mecânico de torção dos instrumentos Protaper Universal e Protaper Gold

Alex Sandro Mendonça Leal¹, Marina Fernanda de Lima Sá²

¹Especialista em Endodontia (ABO-MA); Mestre em Odontologia-UFMA; Doutor em Endodontia UNESA-RJ); Professor da disciplina de Endodontia do Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco (UNDB).

²Graduanda em Odontologia da UNDB – Centro Universitário. São Luís, MA, Brasil.

RESUMO

Os instrumentos endodônticos de Níquel e Titânio (NiTi) sofreram grandes modificações em suas características com a finalidade melhorar as propriedades mecânicas e assim proporcionar melhor desempenho clínico. Este trabalho teve o objetivo de comparar a resistência torcional dos instrumentos Protaper Gold e Protaper Universal através do ensaio de torção. A resistência torsional foi realizada em um dispositivo sob medida (ISSO 3630-1), onde um torque foi aplicado para mensurar a variação do ângulo de torção e o valor do torque até a fratura do instrumento. Dez instrumentos Protaper Universal F3 (PTU F3) e dez instrumentos Protaper Gold F3 (PTG F3) foram selecionados para o ensaio e submetidos ao teste de análise de variância (ANOVA) e Student-Newman-Keuls (SNK) com nível de significância de 5%. Após os resultados, o valor de torque máximo até à fratura seguiu a seguinte ordem: PTG F3 > PTU F3 ($P < 0,05$); quanto ao ângulo de torção, o PTU F3 foi superior ao PTG F3, porém sem diferença estatística significativa. Por apresentar maior torque máximo em torção, o instrumento PTG F3 pode ser recomendado para a instrumentação de um canal severamente curvo, enquanto o PTU F3, que revelou maior ângulo de torção pode ser mais indicado na instrumentação de um canal atrésicos retos ou com curvatura suave.

Palavras chaves: Liga de níquel-titânio. fratura por torção. ProTaper Universal. ProTaper Gold.

ABSTRACT

Nickel and Titanium (NiTi) endodontic instruments have undergone major changes in their characteristics in order to improve mechanical properties and thus provide better clinical performance. This work aimed to compare the torsional resistance of Protaper Gold and Protaper Universal instruments through the torsion test. The torsional resistance was performed in a custom-made device (ISO 3630-1), where a torque was applied to measure the variation of the torsion angle and the torque value until the instrument fractured. Ten Protaper Universal F3 instruments (PTU F3) and ten Protaper Gold F3 instruments (PTG F3) were selected for the test and subjected to the analysis of variance (ANOVA) and Student-Newman-Keuls (SNK) test with a significance level of 5 %. After the results, the maximum torque value until fracture followed the following order: PTG F3 > PTU F3 ($P < 0.05$); as for the torsion angle, PTU F3 was superior to PTG F3, but with no statistically significant difference. As it has a higher maximum torque in torsion, the PTG F3 instrument can be recommended for the instrumentation of a severely curved channel, while the PTU F3, which revealed a greater torsion angle, may be more indicated for the instrumentation of a straight or gently curved atresia channel.

Key words: Nickel-titanium alloy. torsion fracture. Universal ProTaper. ProTaper Gold.

1 INTRODUÇÃO

As limas endodônticas de aço inoxidável ainda são bastante utilizadas na instrumentação de canais radiculares (CR), porém, em situações de curvaturas e atresias podem provocar iatrogenias, como o transporte apical, grandes desgastes, desvios, perfurações e fratura do instrumento (BERGMANS et al., 2003; KURNET et al., 2010). Além da introdução da liga de Níquel e Titânio (NiTi) na endodontia, outras alternativas surgiram para melhorar as propriedades mecânicas dos instrumentos endodônticos, como tratamentos termomecânicos da superfície e como exemplo, a liga M-wire e a liga com memória de forma controlada (MFC) proporcionaram melhora da resistência à fratura (CIMIS; BOYER; PELLEU, 1988; YOSHIMINE; ONO; AKAMINE, 2005; GAO et al., 2012).

Atualmente, formatar um canal radicular de forma cônica desejável ainda permanece o risco de fratura por torção (PETERS, 2004), que ocorre quando a ponta do instrumento fica presa no canal, enquanto sua haste permanece girando. Deste modo, se o limite elástico do metal for extrapolado, o instrumento sofre deformação plástica, que pode ser acompanhada por fratura (BAHIA; BUONO, 2005).

No mercado há inúmeros sistemas mecanizados desenvolvidos pelos fabricantes, assim, vale destacar o sistema rotatório Protaper, largamente empregado para instrumentação de CR (PETERS, 2004). Este sistema de giro contínuo a direita apresentou mudanças, surgindo novas versões como os sistemas ProTaper Universal (PTU) e ProTaper Gold (PTG). O PTU seria a evolução do sistema inicial, fabricado com liga de NiTi convencional e o PTG representa a melhoria do sistema PTU, principalmente no que diz respeito ao tratamento térmico da superfície que permitiu o efeito MFC.

Essa nova geração de instrumentos submetidos a um tratamento termomecânico especial tem como finalidade minimizar o risco de fratura (GAO et al., 2010). Outro aspecto destacado mostra que instrumentos mecanizados que utilizam o movimento rotatório possuem maior risco de fratura (GLOSSEN et al., 1995; ELNAGHY & ELSAKA, 2016), mesmo sem apresentar qualquer tipo de deformação plástica (PRUETT; CLEMENT; CARNES, 1997).

Portanto, este trabalho tem o objetivo de avaliar e comparar através do movimento de giro contínuo à direita, a resistência torsional dos instrumentos PTG e PTU através do teste de torção.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Instrumentos

Para esse estudo foram selecionadas duas gerações do sistema rotatório ProTaper (Dentsply Sirona, Tulsa, OK, EUA), totalizando 20 instrumentos: 10 PTU F3 e 10 PTG F3. Todos os instrumentos apresentavam dimensões nominais de diâmetro em D_0 de 0,30 milímetros (mm) e 25 mm de comprimento.

Antes da realização do ensaio mecânico, os instrumentos de cada sistema ProTaper foram aleatoriamente selecionados e inspecionados através de

um estereomicroscópio binocular (Stemi 2000 – C, Carl Zeiss do Brasil Ltda., SP), com câmera acoplada para aquisição de imagem Megapixel Firewire Câmera, modelo PL-A662, (Pixelink, Ottawa, ON, Canadá), empregando o programa Axio Vision Rel 4.4 (Carl Zeiss do Brasil Ltda., SP). Essa etapa permitiu observar a presença de defeitos na fabricação.

2.2 Ensaio Mecânico de Torção

Dez instrumentos selecionados de cada sistema foram submetidos ao ensaio mecânico de torção (Tabela 1), realizado no Laboratório de Ensaios Mecânicos da Universidade do Grande Rio (UNIGRANRIO, Duque de Caxias, RJ).

Tabela 1. Divisão dos instrumentos realizado no ensaio de torção.

Instrumento	Número
PTU F3	10
PTG F3	10
Total	20

Neste ensaio, avaliou-se o torque máximo em torção e o ângulo máximo de torção suportado pelo instrumento, até a fratura. Por meio de um dispositivo produzido sob medida, segundo a ISO 3630-1 (SILVA et al., 2018), uma das extremidades do instrumento foi fixada e um torque foi aplicado na extremidade oposta, mensurando a variação do ângulo de torção e o valor do torque aplicado. Assim, estimou-se a força de torção final e o ângulo de rotação do instrumento. Cada instrumento foi fixado a 3 mm da sua ponta por uma morsa de alumínio conectada a uma célula de carga sensível ao torque e a haste do instrumento fixada em um mandril específico no lado oposto, acionado por um motor (figura 1).

Em temperatura ambiente de 37°C, cada instrumento foi girado no sentido horário a uma velocidade de 2 rotações por minuto, até ocorrer sua ruptura. A carga de torque (N/mm) e o ângulo de rotação foram monitorados continuamente usando um torquímetro (ODEME, Luzerna, SC). A resistência torsional final, a velocidade e o ângulo máximo de torção até a fratura foram fornecidos por meio de um *software* específico (ODEME Analysis TT, Luzerna, SC) (Figura 2).



Figura 1. Dispositivo empregado no ensaio de torção



Figura 2. Visor do torquímetro mostrando a velocidade, torque e o ângulo máximo de torção.

2.3 Análise Estatística

Após a submissão dos dados obtidos ao teste de normalidade Kolgomorov-Smirnov para verificar a distribuição dos dados, empregou-se o teste de análise de variância (ANOVA) e de Student-Newman-Keuls (SNK) com nível de significância de 5% para análise dos grupos envolvidos no estudo.

3 RESULTADOS

Os resultados obtidos nos ensaios foram analisados e confrontados entre si buscando estabelecer uma correlação entre as propriedades mecânicas exibidas pelos instrumentos PTU F3 e PTG F3 e sua resistência à fratura por torção.

A média e o desvio padrão do torque máximo (Nmm) e do ângulo máximo em torção (medido em graus) para a fratura são apresentados na tabela 2.

O PTU F3 apresentou valores maiores de ângulo máximo em torção em relação ao PTG F3, essa diferença não foi estatisticamente significativa.

O valor de torque máximo em torção do PTG F3 foi significativamente superior, quando comparado ao PTU F3 ($P < 0,05$).

Tabela 2. Média e desvio padrão (\pm dp) do torque máximo (Nmm) e do ângulo máximo (graus) em torção dos instrumentos PTU F3 e PTG F3.

Variáveis	Instrumentos		
	PTU F3	PTG F3	P
	média \pm dp	média \pm dp	
Torque máximo (Nmm)	2,0 \pm 0,3 ^a	2,3 \pm 0,3 ^c	<0,001
Ângulo máximo em torção (graus)	655,7 \pm 185,7 ^a	642,2 \pm 79,4 ^a	<0,001

Letras minúsculas diferentes significam diferenças estatisticamente significantes entre os grupos ($P < 0,05$) através do teste student-Newman-Keuls.

4 DISCUSSÃO

O aprimoramento alcançado nos últimos anos com o objetivo de melhorar a performance das propriedades mecânicas, os instrumentos de NiTi sofreram algumas mudanças, como modificações no desenho, seção transversal e no surgimento de diferentes ligas na confecção desta importante ferramenta utilizada por endodontistas (DUKE et al. 2015; ELNAGHY & ELSAKA, 2016). Uma dessas novidades, o tratamento térmico da superfície, permitiu o desenvolvimento de instrumentos de maior resistência à fadiga (SHEN et al., 2013), porém poucas mudanças relevantes foram obtidas em relação à performance torsional (ARIAS et al., 2017).

Apesar da literatura apresentar estudos avaliando o comportamento mecânico de cada um desses dois sistemas, ainda existem poucos trabalhos comparando-os entre si. Portanto, este estudo se propôs a avaliar e comparar a resistência torsional dos instrumentos PTU e PTG, a fim de ajudar o profissional a selecionar o instrumento mais seguro e eficaz, para as variadas condições anatômicas do sistema de CR.

O resultado do ensaio de torção deste estudo revelou que o valor de torque máximo até a fratura para os instrumentos PTG F3 foram significativamente maiores em relação ao instrumento PTU F3.

Os recém-lançados instrumentos do sistema PTG, com MFC apresentam características geométricas idênticas ao PTU, mas apesar disso e do volume na região do teste que fixa os instrumentos a 3 mm da ponta iguais ($D_3=0,57$ mm), obtiveram desempenhos diferentes, resultado semelhante também encontrado na literatura. Isto deve-se provavelmente ao tratamento termomecânico de superfície dos instrumentos com MFC, que maximizou a resistência torsional em relação ao instrumento PTU F3 confeccionado com liga de NiTi convencional (GAGLIARD et al., 2015).

Em outro estudo de Arias et al. (2017), além de verificar a melhor performance torsional de instrumentos com MFC em relação à liga convencional, concluiu também que esta tecnologia patenteada da liga de NiTi apresentou algumas outras características melhoradas, como menor transporte e maior quantidade de dentina remanescente dos CR.

Os resultados deste estudo foram corroborados na literatura especializada, onde sistemas fabricados com a liga com MFC apresentaram maior resistência torsional quando comparado a liga de NiTi convencional, apesar de apresentar um torque máximo até a fratura semelhante (CASPER et al., 2011; PETERS et al., 2012; CHANG et al., 2016).

Em contrapartida, utilizando o mesmo ensaio para comparar instrumentos F2 do sistema PTU e PTG, concluiu-se que a maior resistência à fadiga torsional dos instrumentos PTU está relacionado a elevada temperatura final de austenita e ao ambiente de dois estágios de transformação que o sistema PTG é processado, pois a liga com MFC possui maior flexibilidade e módulo de elasticidade menor que a liga austenita. Como consequência, os instrumentos de NiTi martensíticos suportam maior deformação com um torque similar aos instrumentos de NiTi austeníticos (ELNAGHY & ELSAKA, 2016).

Mesmo assim, Zupanc et al (2018) recomendam a utilização da liga convencional em canais de pequeno diâmetro com a utilização prévia do Glidepath como forma de compensar a menor resistência ao torque em canais radiculares atrésicos, pois o torque aplicado ao instrumento depende principalmente da força

apical acionada e do contato com as paredes do canal, fato que torna relevante o volume do canal e o diâmetro do instrumento (ARIAS et al., 2017).

Após analisar a resistência torsional de instrumentos PTG e PTU, Kaval et al. (2016) encontraram valores máximos de torque até a fratura, não apresentando diferença estatisticamente significativa ($P > 0,05$). Então, concluiu-se que os instrumentos PTG por exibir maior resistência à torção, teriam maior indicação no tratamento dos CR calcificados e atrésicos. Também reforçando os resultados desta pesquisa, após avaliação da resistência torsional entre instrumentos rotatórios do sistema PTG e PTU, a conclusão foi que embora os sistemas PTG e PTU apresentem semelhantes características na seção transversal, os instrumentos PTG apresentaram maior resistência torsional que os instrumentos PTU e a principal explicação seria as propriedades da liga com MFC.

Outro estudo encontrado na literatura opõe-se aos resultados encontrados nesta pesquisa, onde foi comparado a resistência à fratura torsional de instrumentos F2 PTU e PTG. Assim, conclui-se que os instrumentos PTU foram mais resistentes à fratura torsional que os instrumentos do sistema PTG ($P < 0.001$) (OTSUKA; REN, 2005).

Embora o PTG e o PTU tenham um design de seção transversal semelhante, o PTG teve uma resistência à torção significativamente menor. Isso pode ser atribuído ao comportamento de transformação em 2 estágios e à alta temperatura final de austenita, a partir das quais o PTG é produzido, com este material possuindo maior flexibilidade (OTSUKA; REN, 2005; HIEAWY et al., 2015) e consequente módulo de elasticidade menor que o o instrumento austenítico (MIYAI et al., 2006; PARK et al., 2010). Como consequência, supõe-se que a liga de NiTi martensita permite maior quantidade de deformação com um torque similar à liga austenita (ELNAGHY & ELSAKA, 2016).

Estudos revelaram que instrumentos martensíticos têm um torque máximo menor até a fratura em comparação ao instrumento de NiTi convencional (CASPER et al., 2011; WYCOFF; BERZINS, 2012; CHOI et al., 2016), opondo-se aos resultados desta pesquisa.

Em relação ao ângulo de torção, os resultados mostraram que os instrumentos do sistema PTU quando comparado ao sistema PTG, mostraram desempenho superior, porém, sem diferença estatística significativa ($P > .05$). As ligas de NiTi tratadas termomecanicamente são mais flexíveis, com melhor

resistência à fadiga e maior ângulo de torção até a fratura quando comparado a liga de NiTi convencional (ZUPANC et al., 2018).

Instrumentos endodônticos feitos de ligas austeníticas possuem propriedades SE devido à transformação por martensita induzida por tensão e, conseqüentemente, tendem a retornar à sua forma original após a deformação. Em contraste, os instrumentos martensíticos podem ser facilmente deformados devido à reorientação das variantes de martensita e mostram um efeito de memória de forma quando aquecidos (ZUPANC et al., 2018).

Em relação à fratura torsional, os instrumentos martensíticos apresentam um maior ângulo de torção até a fratura em comparação ao instrumento de NiTi convencional (CASPER et al., 2011; WYCOFF; BERZINS, 2012; CHOI et al., 2016).

Outro estudo demonstrou que os instrumentos com MFC exibiram um maior ângulo de torção até a fratura do que a liga de NiTi convencional, mas o torque máximo foi quase igual (CASPER et al., 2011; PETERS et al., 2012; CHANG et al., 2016).

Também comparando instrumentos F2 PTG e PTU, Elnaghy & Elsaka (2016) observaram a maior resistência ao *stress* torsional dos instrumentos do sistema PTG ($P < 0,001$).

Após analisar a resistência torsional de instrumentos PTG e PTU, Kaval et al. (2016) encontraram os ângulos de torção dos instrumentos variando em ordem crescente, da seguinte maneira: instrumentos PTU < PTG ($P < .001$).

Alqedairi et al. (2019) concluíram que os novos instrumentos PTG não apresentaram melhoras significantes em relação à resistência torsional quando comparado aos instrumentos PTU, evidenciando que o tratamento termomecânico da liga destes instrumentos não propiciou superioridade sobre a liga convencional.

De uma forma geral e de acordo com a literatura especializada, podemos assimilar que os instrumentos com MFC apresentam maior ângulo de torção até a fratura com um torque máximo menor em relação aos instrumentos confeccionados com liga de NiTi convencional (ZUPANC et al., 2018).

Diferente do PTU, não há dados sobre o comportamento torsional do sistema PTG, por isso recomenda-se usar o mesmo torque do PTU, porém, talvez sejam necessário estudos *in vitro* para sugerir o emprego clínico correto e seguro (ARIAS et al., 2017). Neste ensaio, o valor médio de torque até a fratura foi de 2,3

N/mm, conforme demonstrado na tabela 2.

Os resultados conflitantes encontrados na literatura especializada podem ser explicados a metodologias diferentes, principalmente no que diz respeito ao dispositivo diferente da especificação ISO 3630-1, empregado neste ensaio.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos no presente estudo chegou-se à conclusão que o instrumento PTG F3 apresenta valor de torque máximo em torção significativamente superior ao instrumento PTU F3. Em relação ao ângulo de torção, apesar do melhor desempenho do PTU F3 em comparação com o PTG F3, a diferença não foi estatisticamente significativa.

Portanto, em canais atrésicos com curvaturas suaves, a indicação recai sobre o PTU F3 (NiTi convencional), que apresentou maior ângulo de torção.

REFERÊNCIAS

- ALQEDAIRI, Abdullah *et al.* Torsional resistance of three ProTaper rotary systems. **BMC oral health**, v. 19, n. 1, p. 124, 2019.
- ARIAS, Ana *et al.* Torsional performance of ProTaper Gold rotary instruments during shaping of small root canals after 2 different glide path preparations. **journal of endodontics**, v. 43, n. 3, p. 447-451, 2017.
- BAHIA, Maria Guiomar A.; BUONO, Vicente Tadeu Lopes. Decrease in the fatigue resistance of nickel-titanium rotary instruments after clinical use in curved root canals. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology**, v. 100, n. 2, p. 249-255, 2005.
- BERGMANS, Lars *et al.* Progressive versus constant tapered shaft design using NiTi rotary instruments. **International Endodontic Journal**, v. 36, n. 4, p. 288-295, 2003.
- CASPER, Rhett B. *et al.* Comparison of autoclaving effects on torsional deformation and fracture resistance of three innovative endodontic file systems. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 11, p. 1572-1575, 2011.
- CHANG, S. W. *et al.* Cyclic fatigue resistance, torsional resistance, and metallurgical characteristics of V taper 2 and V taper 2H rotary NiTi files. **Scanning**, v. 38, n. 6, p. 564-570, 2016.
- CHOI, JinWook *et al.* Fracture resistance of K3 nickel-titanium files made from different thermal treatments. **Bioinorganic chemistry and applications**, v. 2016, 2016.
- CIMIS, Gerald M.; BOYER, Thomas J.; PELLEU JR, George B. Effect of three file types on the apical preparations of moderately curved canals. **Journal of endodontics**, v. 14, n. 9, p. 441-444, 1988.
- DUKE, Frederic *et al.* Cyclic fatigue of ProFile Vortex and Vortex Blue nickel-titanium files in single and double curvatures. **Journal of endodontics**, v. 41, n. 10, p. 1686-1690, 2015.
- ELNAGHY, A. M.; ELSAKA, S. E. Mechanical properties of ProTaper Gold nickel-titanium rotary instruments. **International Endodontic Journal**, v. 49, n. 11, p. 1073-1078, 2016.
- GAGLIARDI, J. *et al.* Avaliação das características de modelagem do ProTaper Gold, ProTaper NEXT e ProTaper Universal em canais curvos. **J Endod.** v. 41: p. 1718-24, 2015.
- GAO, Yong *et al.* Effects of raw material and rotational speed on the cyclic fatigue of ProFile Vortex rotary instruments. **Journal of endodontics**, v. 36, n. 7, p. 1205-1209, 2010.
- GAO, Yong *et al.* Evaluation of the impact of raw materials on the fatigue and mechanical properties of ProFile Vortex rotary instruments. **Journal of endodontics**, v. 38, n. 3, p. 398-401, 2012.

GLOSSEN, Charles R. et al. A comparison of root canal preparations using Ni-Ti hand, Ni-Ti engine-driven, and K-Flex endodontic instruments. **Journal of endodontics**, v. 21, n. 3, p. 146-151, 1995.

HIEAWY, Ahmed et al. Phase transformation behavior and resistance to bending and cyclic fatigue of ProTaper Gold and ProTaper Universal instruments. **Journal of endodontics**, v. 41, n. 7, p. 1134-1138, 2015.

KAVAL, Mehmet Emin; CAPAR, Ismail Davut; ERTAS, Hüseyin. Evaluation of the cyclic fatigue and torsional resistance of novel nickel-titanium rotary files with various alloy properties. **Journal of Endodontics**, v. 42, n. 12, p. 1840-1843, 2016.

KUNERT, Gustavo Golgo et al. Analysis of apical root transportation associated with ProTaper Universal F3 and F4 instruments by using digital subtraction radiography. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 6, p. 1052-1055, 2010

MIYAI, K. et al. Influence of phase transformation on the torsional and bending properties of nickel–titanium rotary endodontic instruments. **International Endodontic Journal**, v. 39, n. 2, p. 119-126, 2006.

OTSUKA, Kazuhiro; REN, Xiabing. Physical metallurgy of Ti–Ni-based shape memory alloys. **Progress in materials science**, v. 50, n. 5, p. 511-678, 2005

PARK, Su-Young et al. Dynamic torsional resistance of nickel-titanium rotary instruments. **Journal of endodontics**, v. 36, n. 7, p. 1200-1204, 2010.

PETERS, Ove A. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. **Journal of endodontics**, v. 30, n. 8, p. 559-567, 2004..

PETERS, Ove A. et al. An in vitro assessment of the physical properties of novel Hyflex nickel–titanium rotary instruments. **International endodontic journal**, v. 45, n. 11, p. 1027-1034, 2012.

PRUETT, John P.; CLEMENT, David J.; CARNES JR, David L. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. **Journal of endodontics**, v. 23, n. 2, p. 77-85, 1997.

SHEN, Y. *et al.* H y F lex nickel–titanium rotary instruments after clinical use: metallurgical properties. **International Endodontic Journal**, v. 46, n. 8, p. 720-729, 2013.

SILVA, Emmanuel João Nogueira Leal et al. Cyclic and torsional fatigue resistance of XP-endo Shaper and TRUShape instruments. **Journal of endodontics**, v. 44, n. 1, p. 168-172, 2018..

WYCOFF, Reid C.; BERZINS, David W. An in vitro comparison of torsional stress properties of three different rotary nickel-titanium files with a similar cross-sectional design. **Journal of Endodontics**, v. 38, n. 8, p. 1118-1120, 2012.

YOSHIMINE, Y.; ONO, M.; AKAMINE, A. The shaping effects of three nickel-titanium rotary instruments in simulated S-shaped canals. **Journal of endodontics**, v. 31, n. 5, p. 373-375, 2005.

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.