



## Investigação

# Prevalência da fratura dos instrumentos endodônticos por alunos de pré-graduação: estudo clínico retrospectivo de 4 anos

Joana Correia-Sousa<sup>a,\*</sup>, Ana Cristina Braga<sup>b</sup>,  
Irene Pina-Vaz<sup>a</sup> e Manuel Fontes Carvalho<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Faculdade de Medicina Dentária, Universidade do Porto, Porto, Portugal

<sup>b</sup> Escola de Engenharia, Universidade do Minho (EEUM), Braga, Portugal

### INFORMAÇÃO SOBRE O ARTIGO

#### Historial do artigo:

Recebido a 18 de janeiro de 2013

Aceite a 1 de julho de 2013

On-line a 4 de outubro de 2013

#### Palavras-chave:

Fratura de instrumento  
Tratamento endodôntico  
Pré-graduação  
Estudo retrospectivo

### R E S U M O

**Objetivos:** Este estudo teve como objetivos investigar a prevalência da fratura dos instrumentos endodônticos pelos alunos do Mestrado Integrado em Medicina Dentária da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto e determinar possíveis fatores associados. **Métodos:** Um estudo retrospectivo foi conduzido através da análise dos relatórios clínicos e radiográficos dos tratamentos endodônticos realizados pelos alunos de pré-graduação do Mestrado Integrado em Medicina Dentária da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto entre setembro de 2008 e julho de 2012. Um total de 1.162 tratamentos (2.177 canais) em dentes molares (420), pré-molares (365) e dentes anteriores (377) foram avaliados. Dados adicionais como tipo e localização do dente, primeiro tratamento versus retratamento, tipo de instrumento fraturado, localização do instrumento retido e procedimento clínico adotado, foram processados. A análise estatística foi efetuada no programa R para intervalos de confiança de 95% e níveis de significância 0,05 para o teste chi-quadrado de Pearson.

**Resultados:** A prevalência de instrumentos fraturados durante o tratamento endodôntico pelos alunos de pré-graduação foi de 1,64%. Essa prevalência foi estatisticamente superior no terço apical (63,2%) relativamente ao terço médio (21,0%) e coronal (15,8%) ( $p < 0,05$ ). A frequência da fratura dos instrumentos revelou-se superior nos casos de retratamento ( $p < 0,05$ ).

**Conclusões:** A prevalência dos instrumentos endodônticos fraturados pelos alunos em pré-graduação foi baixa. Uma maior prevalência de fraturas foi associada aos casos de retratamento endodôntico e nas situações decorrentes da preparação do terço apical.

© 2013 Sociedade Portuguesa de Estomatologia e Medicina Dentária. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos os direitos reservados.

\* Autor para correspondência.

Correios eletrónicos: [joanamcsousa@hotmail.com](mailto:joanamcsousa@hotmail.com), [joanamoraissousa@gmail.com](mailto:joanamoraissousa@gmail.com) (J. Correia-Sousa).

## Prevalence of endodontic instrument fracture in undergraduate students: Four-year retrospective clinical study

### A B S T R A C T

#### Keywords:

Instrument fracture  
Root canal therapy  
Undergraduate  
Retrospective study

**Objectives:** The purpose of this study was to investigate the prevalence of instrument fracture by undergraduate students of Dentistry of Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto and establish possible associated fracture variables.

**Methods:** A retrospective study was conducted by reviewing the clinical and radiographic reports of root canal treatments performed by undergraduate students of the Master Degree in Dentistry of Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto between September 2008 and July 2012. A total of 1162 endodontic cases (2177 root canals) 420 molars, 365 premolars and 377 anterior teeth were evaluated. Additional data such as type and location of the tooth, initial therapy versus retreatment, type of instrument fractured, level of the retained instrument and management were recorded. Statistical analysis was performed with R program to 95% confidence intervals and 0.05 significance levels for the X-squared test.

**Results:** The overall prevalence of instrument fracture during root canal treatment by undergraduate students was 1.64%. The prevalence of instruments fractured in the apical third (63.2%) was significantly higher when compared with middle (21.0%) and coronal (15.8%) thirds ( $p < 0.05$ ). The fracture frequency was higher in retreatment cases in relation to initial therapies ( $p < 0.05$ ).

**Conclusions:** The prevalence of endodontic instrument fracture by the undergraduate students was low. A higher prevalence rate was associated in retreatment cases and in the apical third.

© 2013 Sociedade Portuguesa de Estomatologia e Medicina Dentária. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

## Introdução

A preparação biomecânica dos canais radiculares curvos e/ou finos representa um desafio, mesmo para um profissional experiente. A anatomia complexa dos canais radiculares, aliada ao uso repetido e/ou inadequado dos instrumentos, pode implicar um risco acrescido de fratura<sup>1</sup>. Consequentemente, a correta instrumentação e obturação do sistema de canais radiculares fica condicionada e o prognóstico a longo-prazo do tratamento endodôntico comprometido<sup>2,3</sup>.

Spili et al.<sup>4</sup> e Friedman et al.<sup>5</sup> observaram que a periodontite apical, presente pré-operatoriamente, é o indicador clínico com maior significado em termos de prognóstico, desvalorizando a fratura do instrumento *per se*. Contudo, o fragmento partido dificulta a desinfecção, a conformação e a obturação do sistema de canais radiculares<sup>5,7</sup>. Nestes casos, o conteúdo necrosado remanescente pode influenciar decisivamente o êxito do tratamento<sup>6</sup>.

A fratura dos instrumentos pode ocorrer por flexão ou por torção<sup>8,9</sup>. A flexão sucede por fadiga cíclica e ocorre, geralmente, no ponto médio da curvatura maior do canal<sup>10</sup>. Por outro lado, a torção manifesta-se quando a ponta do instrumento fica bloqueada no canal radicular, enquanto o remanescente continua a rodar, verificando-se o desenrolar das espiras do instrumento até à rutura<sup>8</sup>. Perante o fragmento retido, o médico dentista deve ponderar entre os benefícios da sua remoção e o prejuízo que pode causar à estrutura dentária remanescente, proveniente da tentativa de remoção. Para além disso, o clínico deve avaliar o *status* pulpar, a presença de infeção, o diâmetro e anatomia do canal radicular e o tipo,

comprimento e localização do instrumento fraturado<sup>11,12</sup>. A remoção, o *bypass*, a obturação do lúmen do canal radicular mantendo-se o instrumento ou ainda a sua remoção por via apical e obturação retrógrada são os tratamentos disponíveis<sup>13,14</sup>. Vários autores referem que não existe um procedimento *standard* que permita remover com segurança e sucesso os instrumentos fraturados. Existem descritos na literatura inúmeros métodos e aparelhos para a remoção dos instrumentos fraturados, entre eles *Masserann-kit*<sup>15,16</sup>, pontas ultrasónicas<sup>16-18</sup> e o *Canal-Finder-System*<sup>19</sup>. Contudo, o equipamento técnico não deve ser considerado como o único fator para o sucesso ou insucesso da remoção dos instrumentos. Tal como supracitado, a experiência do operador, a localização do fragmento, a anatomia e o diâmetro do canal radicular são fatores igualmente importantes.

Estudos clínicos demonstram que a frequência da fratura dos instrumentos manuais de aço inoxidável é relativamente baixa (0,25-6%)<sup>20-22</sup>. Uma percentagem de 1,3-10% é referida para os instrumentos de níquel titânio (NiTi) movidos a motor<sup>22-24</sup>. Inúmeros fatores têm sido associados à fratura dos instrumentos NiTi tais como destreza e experiência do operador<sup>25,26</sup>, técnica de preparação<sup>26</sup>, velocidade de rotação<sup>27</sup>, torque<sup>28,29</sup>, desenho do instrumento<sup>25,26</sup>, número de utilizações<sup>30</sup> e ciclos de esterilização<sup>29,30</sup>.

O melhor tratamento para a fratura dos instrumentos é a sua prevenção. Uma técnica de preparação adequada, respeito pela anatomia dos canais e conhecimento das propriedades dos instrumentos é fundamental para reduzir o risco de fratura<sup>29</sup>. Contudo, uma vez ocorrida, esta deve ser documentada por meios radiográficos e registada na ficha do paciente. Este deve ser informado do acidente bem como das suas

possíveis consequências sobre o prognóstico do tratamento. Esta documentação detalhada é fulcral no que respeita a considerações médico legais<sup>31</sup>.

De forma a clarificar esta temática e como não existem estudos sobre a prevalência da fratura dos instrumentos durante os tratamentos endodônticos na população portuguesa, este trabalho teve como objetivos: (1) investigar a prevalência da fratura dos instrumentos endodônticos provocada pelos alunos do Mestrado Integrado em Medicina Dentária da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto (FMDUP) e (2) avaliar quais os fatores associados à fratura destes instrumentos.

## Materiais e métodos

A amostra populacional consistiu em 959 pacientes que compareceram à consulta de endodontia na clínica da FMDUP e que cumpriram os critérios de inclusão. Apenas tratamentos endodônticos finalizados, executados em dentes definitivos e sem história prévia de fratura de instrumentos endodônticos foram incluídos no estudo. Todos os tratamentos foram realizados pelos alunos em pré-graduação, do 4.º e 5.º anos das unidades curriculares de endodontia, do Mestrado Integrado em Medicina Dentária, entre setembro de 2008 e julho de 2012. Um total de 1.162 tratamentos endodônticos (2.177 canais, 420 molares, 365 pré-molares e 377 dentes anteriores) foram avaliados através da observação do relatório clínico e radiográfico – radiografias periapicais (R&S, França). Dados adicionais como o tipo (monorradicular ou multirradicular) e localização do dente (anterior/pré-molar/molar e maxilar/mandibular), primeiro tratamento endodôntico ou retratamento, tipo de instrumento fraturado – Lima manual k de aço inoxidável (Dentsply Maillefer, Suíça), Protaper Universal (Dentsply Maillefer, Suíça), lentulo (Dentsply Maillefer, Suíça) – nível da localização do instrumento retido (terço apical, médio ou coronal) e procedimento clínico adotado, foram documentados.

O procedimento estatístico foi efetuado no programa R (versão 2.15.1; 2012-06-22), utilizando intervalos de confiança (IC) de 95% para determinar as diferenças entre proporções.

Aplicou-se o teste chi-quadrado de Pearson para um nível de significância estatística de 0,05.

## Resultados

Os dados referentes aos tratamentos endodônticos recolhidos dos relatórios clínicos dentários encontram-se sumarizados na [tabela 1](#). Dos 1.162 tratamentos endodônticos realizados, 1.065 foram primeiros tratamentos e 97 foram retratamentos.

A prevalência da fratura de instrumentos endodônticos pelos alunos de pré-graduação foi de 1,64% (19/1.162; 95% IC, 1,02-2,59%). No total dos 19 instrumentos fraturados, 8 foram limas manuais de aço inoxidável (2 limas K n.º10 e 6 limas K n.º15); 5 foram lentulos e as restantes 6 fraturas corresponderam a limas rotatórias Protaper Universal de NiTi - Dentsply Maillefer (3 limas F1, 2 limas F2 e uma lima F3). Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas entre os 2 tipos de instrumentos utilizados, manuais ou movidos a motor, na prevalência das fraturas ( $p > 0,05$ ).

A prevalência dos instrumentos fraturados de acordo com o tipo e localização do dente encontra-se descrito na [tabela 2](#). Nenhum instrumento fraturado foi encontrado nos dentes anteriores. Ao comparar o tipo de dente com a ocorrência das fraturas observou-se que não existem diferenças estatisticamente significativas ( $p = 0,53$ ).

Ao associar os resultados dos instrumentos manuais com os instrumentos movidos a motor observamos que as fraturas decorreram, maioritariamente, na mandíbula, com uma prevalência de 2,55% (12/470, 95% IC, 1,39-4,54%) em oposição aos 1,01% maxilares (7/692, 95% IC, 0,44-2,17%). Objetivamente verificou-se que no sextante posterior 3 das fraturas ocorreram nos molares maxilares, enquanto 9 ocorreram nos molares mandibulares, sendo a prevalência destas de 1,65% (3/182, 95% IC, 0,43-5,13%) e 3,78% (9/238, 95% IC, 1,86-7,30%), respetivamente. Verificou-se ainda que apesar das fraturas ocorrerem maioritariamente no canal mesio-lingual do molar mandibular, não se detetaram diferenças estatisticamente significativas na prevalência da fratura dos instrumentos de acordo com os diferentes canais ([tabela 3](#)).

**Tabela 1 – Sumário dos tratamentos endodônticos realizados de setembro de 2008 a julho 2012**

	Anterior		Pré-molares		Molares	
	N.º dentes	N.º canais	N.º dentes	N.º canais	N.º dentes	N.º canais
Maxila	292	292	218	380	182	534
Mandíbula	85	88	147	154	238	729
Total	377	380	365	534	420	1.263

**Tabela 2 – Fratura dos instrumentos endodônticos de acordo com o tipo e localização dos dentes**

Dente	N.º dentes tratados	N.º instrumentos fraturados	% da fratura dos instrumentos
Anterior maxilar	292	0	0,00
Anterior mandibular	85	0	0,00
Pré-molar maxilar	218	4	1,83
Pré-molar mandibular	147	3	2,04
Molar maxilar	182	3	1,65
Molar mandibular	238	9	3,78
Total	1.162	19	1,64

**Tabela 3 – Distribuição das fraturas dos instrumentos nos molares segundo o canal radicular**

Canal	N	%	IC a 95%	p
Mesio-vestibular molar maxilar	3	1,6	0,42-5,07	p=0,61*
Mesio-vestibular molar mandibular	2	0,9	0,16-3,63	
Mesio-lingual molar mandibular	5	2,3	0,85-5,56	
Distal molar mandibular	2	1,0	0,17-3,91	
Total	12			

IC: intervalo de confiança; \* chi-quadrado: 1,8463 com 3 graus de liberdade.

**Tabela 4 – Procedimento clínico adotado de acordo com o nível da fratura**

Nível da fratura	Procedimento clínico						Total
	N	Remoção	N	Bypass	N	Nenhum	
1/3 coronal	1	Lentulo	1	Lentulo	1	K15	3
1/3 médio	0		1	K10	1	F1	4
1/3 apical	1	Lentulo	0		1	K15	12
					2	F1	
					2	F2	
					1	F3	
					1	K10	
Total	2		3		4	K15	19
					1	Lentulo	
					14		

A prevalência dos instrumentos fraturados segundo a sua localização nos 1/3 coronal, médio e apical do canal foi de 15,8, 21,0 e de 63,2%, respetivamente. Diferenças estatisticamente significativas foram encontradas entre a prevalência dos instrumentos fraturados e a sua localização no canal radicular ( $p < 0,05$ ). Na [tabela 4](#) podemos analisar, detalhadamente, a distribuição das fraturas dos instrumentos, a sua relação com o tipo e localização do fragmento e procedimento clínico adotado.

Dos 1.162 tratamentos endodônticos realizados, 97 foram retratamentos. A prevalência da fratura dos instrumentos movidos a motor nos primeiros tratamentos foi de 0,66% (7/1.065, 95% IC, 0,29-1,41%) versus 4,12% (4/97, 95% IC, 1,33-10,82%) nos retratamentos. Para as limas manuais verificou-se uma prevalência de 0,47% (5/1065, 95% IC, 0,17-1,16%) nos primeiros tratamentos e de 3,09% (3/97, 95% IC, 0,80-9,42%) nos retratamentos. Uma maior prevalência de instrumentos fraturados foi detetada nos casos de retratamento ( $p < 0,05$ ).

## Discussão

O presente estudo retrospectivo releva que a prevalência da fratura dos instrumentos endodônticos foi muito reduzida (1,64%), mesmo em operadores inexperientes, como é o caso de alunos em pré-graduação do Mestrado Integrado em Medicina Dentária da FMDUP. Isto pode refletir o rigor que é colocado no ensino teórico e prático das técnicas endodônticas, bem como a consciência e o cuidado com que os alunos inspecionam e manuseiam os instrumentos. Contudo, esta prevalência deve ser analisada com algumas ressalvas e limitações. Apenas os tratamentos finalizados estão contabilizados no presente estudo. Os tratamentos endodônticos incompletos, ou por falta de cooperação/incumprimento

do doente ou por extração dentária, não foram inseridos na base de dados. Adicionalmente, em alguns casos onde a fratura do instrumento ocorreu na mesma sessão da remoção do mesmo, houve omissão desse dado no relatório clínico.

Uma maior prevalência de instrumentos fraturados foi encontrada num estudo clínico retrospectivo de 5 anos pelos alunos de pós-graduação<sup>24</sup>. Uma supervisão mais minuciosa dos alunos em pré-graduação da FMDUP e um rácio de professor/aluno mais alto poderão justificar esta discrepância. Concomitantemente, o uso de motores com controlo de torque foram utilizados para a preparação com as limas NiTi, o que contribui para diminuir a prevalência das fraturas, nestes instrumentos<sup>32</sup>.

De acordo com estudos prévios similares, a prevalência das fraturas nas limas manuais foi menor do que nas limas movidas a motor<sup>22,24</sup>. Porém, não se observaram diferenças estatisticamente significativas entre os 2 grupos de instrumentos ( $p > 0,05$ ). Uma heterogeneidade de parâmetros dificultam esta comparação, como por exemplo a técnica de preparação. As limas manuais são, normalmente, utilizadas num movimento de *step-back* em oposição ao movimento *crown-down* das limas movidas a motor.

Dos 19 instrumentos fraturados, 12 (63,2%) ocorreram nos molares, 7 (36,8%) nos pré-molares e 0 nos dentes anteriores. A percentagem de molares e pré-molares com fratura de instrumento foi de 2,9% (12/420, 95% IC, 1,55-5,07%) e de 1,9% (7/365, 95% IC, 0,84-4,09%), respetivamente. Apesar de não existirem diferenças estatisticamente significativas entre os grupos, estes resultados não surpreendem, ocorrendo as fraturas dos instrumentos, com uma maior probabilidade, em dentes com um sistema de canais radiculares complexo ou de mais difícil acesso, como é o caso dos molares. Nenhum dos casos documentados se refere à fratura de instrumentos na tentativa de remoção de outros instrumentos fraturados.

Uma vez que a dificuldade dos tratamentos endodônticos vai aumentando ao longo do ciclo de estudos, de acordo com a aptidão manual e a aquisição de conhecimentos teóricos dos alunos, não se realizou uma análise comparativa entre a prevalência de fraturas dos instrumentos nos alunos do 4.º ano com os alunos que frequentam o último ano clínico (5.º ano). Concomitantemente, os alunos do 4.º ano clínico apenas podem realizar tratamentos endodônticos em dentes monorradiculares, em que o grau de dificuldade e exigência técnica, na maioria das vezes, é inferior. Contudo, através da análise dos resultados, facilmente nos apercebemos que a maioria das fraturas ocorreram em dentes multirradiculares, cujos tratamentos foram executados pelos alunos do 5.º ano.

Tal como em outros estudos<sup>22,24,33</sup>, o terço apical do canal foi correlacionado com o maior número de instrumentos fraturados. Isto poderá dever-se à variabilidade anatômica dos canais, ao grau de curvatura e à reduzida dimensão desta porção apical ( $p < 0,05$ ).

Ao apresentar-se geralmente estreito e com grande curvatura apical, o canal mesio-lingual do molar mandibular torna-se mais vulnerável a fraturas<sup>34</sup>. Adicionalmente, em 49% dos casos os canais mesiais dos molares mandibulares coalescem para formar um *foramen*. Isto implica uma curvatura gradual que no seu término se funde originando um ângulo abrupto. Embora sem significado estatisticamente significativo, no presente estudo constatou-se que das 12 fraturas documentadas nos molares, 5 foram observadas neste canal. Estes resultados estão em concordância com os de Knowles et al.<sup>35</sup>.

Descobrir e compreender quais as causas que conduziram ao insucesso do tratamento endodôntico é um pré-requisito fundamental na reintervenção endodôntica. Inevitavelmente, devido a estes fatores, o retratamento é acompanhado de um acréscimo no grau de dificuldade. Neste estudo, a dificuldade do retratamento endodôntico manifestou-se por um maior número de instrumentos fraturados, manuais e movidos a motor, relativamente aos casos de primeiro tratamento ( $p < 0,05$ ).

No que respeita ao procedimento clínico adotado pelos alunos de pré-graduação, observou-se que em 73,7% dos casos não existiu remoção ou o *bypass* do instrumento. Este resultado demonstra a dificuldade da remoção/*bypass* dos instrumentos endodônticos após a sua fratura. Para além disso, os alunos em pré-graduação não têm acesso direto a equipamento especializado, como o microscópio clínico/cirúrgico e as pontas ultrassónicas, só disponibilizado na pós-graduação e que poderá ser decisivo no êxito da remoção dos instrumentos<sup>18</sup>.

## Conclusões

A prevalência da fratura dos instrumentos pelos alunos da pré-graduação da FMDUP foi reduzida. Verificou-se que um quarto das fraturas dos instrumentos ocorreram no canal mesio-lingual do molar mandibular. O terço apical do canal e os casos de retratamento foram identificados como possíveis fatores que predispoem a uma maior prevalência de fraturas.

## Responsabilidades éticas

**Proteção de pessoas e animais.** Os autores declaram que para esta investigação não se realizaram experiências em seres humanos e/ou animais.

**Confidencialidade dos dados.** Os autores declaram ter seguido os protocolos de seu centro de trabalho acerca da publicação dos dados de pacientes e que todos os pacientes incluídos no estudo receberam informações suficientes e deram o seu consentimento informado por escrito para participar nesse estudo.

**Direito à privacidade e consentimento escrito.** Os autores declaram que não aparecem dados de pacientes neste artigo.

## Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

## BIBLIOGRAFIA

1. Parashos P, Messer HH. Questionnaire survey on the use of rotary nickel-titanium endodontic instruments by Australian dentists. *Int Endod J.* 2004;37:249-59.
2. Siqueira Jr JF. Aetiology of root canal treatment failure: Why well-treated teeth can fail. *Int Endod J.* 2001;34:1-10.
3. Sjogren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod.* 1990;16:498-504.
4. Spili P, Parashos P, Messer HH. The impact of instrument fracture on outcome of endodontic treatment. *J Endod.* 2005;31:845-50.
5. Friedman S, Abitbol S, Lawrence HP. Treatment outcome in endodontics: The Toronto Study. Phase 1: Initial treatment. *J Endod.* 2003;29:787-93.
6. Murad M, Murray C. Impact of retained separated endodontic instruments during root canal treatment on clinical outcomes remains uncertain. *J Evid Based Dent Pract.* 2011;11:87-8.
7. Panitvisai P, Parunnit P, Sathorn C, Messer HH. Impact of a retained instrument on treatment outcome: A systematic review and meta-analysis. *J Endod.* 2010;36:775-80.
8. Yum J, Cheung GS, Park JK, Hur B, Kim HC. Torsional strength and toughness of nickel-titanium rotary files. *J Endod.* 2011;37:382-6.
9. Wei X, Ling J, Jiang J, Huang X, Liu L. Modes of failure of ProTaper nickel-titanium rotary instruments after clinical use. *J Endod.* 2007;33:276-9.
10. Pruett JP, Clement DJ, Carnes Jr DL. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod.* 1997;23:77-85.
11. Suter B, Lussi A, Sequeira P. Probability of removing fractured instruments from root canals. *Int Endod J.* 2005;38:112-23.
12. Gencoglu N, Helvacoglu D. Comparison of the different techniques to remove fractured endodontic instruments from root canal systems. *Eur J Dent.* 2009;3:90-5.
13. Motamedi MH. Conventional management of fractured endodontic instruments and perforations. *Dent Today.* 2009;28:64, 66-7; quiz 67.
14. Tronstad L. Fracture of an Instrument. In: Thieme, editor. *Clinical Endodontics: A Textbook.* New York, USA; 2009. p. 223-5.

15. Masserann J. L'extraction des fragments de tenons intraradiculaires. *Actual Odonto-stomatol.* 1966;75:329-42.
16. Gerek M, Baser ED, Kayahan MB, Sunay H, Kaptan RF, Bayirli G. Comparison of the force required to fracture roots vertically after ultrasonic and Masserann removal of broken instruments. *Int Endod J.* 2012;45:429-34.
17. Nagai O, Tani N, Kayaba Y, Kodama S, Osada T. Ultrasonic removal of broken instruments in root canals. *Int Endod J.* 1986;19:298-304.
18. Fu M, Zhang Z, Hou B. Removal of broken files from root canals by using ultrasonic techniques combined with dental microscope: A retrospective analysis of treatment outcome. *J Endod.* 2011;37:619-22.
19. Hulsmann M. Removal of silver cones and fractured instruments using the Canal Finder System. *J Endod.* 1990;16:596-600.
20. Crump MC, Natkin E. Relationship of broken root canal instruments to endodontic case prognosis: A clinical investigation. *J Am Dent Assoc.* 1970;80:1341-7.
21. Hulsmann M, Schinkel I. Influence of several factors on the success or failure of removal of fractured instruments from the root canal. *Endod Dent Traumatol.* 1999;15:252-8.
22. 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.
23. Wolcott S, Wolcott J, Ishley D, Kennedy W, Johnson S, Minnich S, et al. Separation incidence of protaper rotary instruments: A large cohort clinical evaluation. *J Endod.* 2006;32:1139-41.
24. Tzanetakos GN, Kontakiotis EG, Maurikou DV, Marzelou MP. Prevalence and management of instrument fracture in the postgraduate endodontic program at the Dental School of Athens: A five-year retrospective clinical study. *J Endod.* 2008;34:675-8.
25. Parashos P, Gordon I, Messer HH. Factors influencing defects of rotary nickel-titanium endodontic instruments after clinical use. *J Endod.* 2004;30:722-5.
26. Shen Y, Haapasalo M, Cheung GS, Peng B. Defects in nickel-titanium instruments after clinical use. Part 1: Relationship between observed imperfections and factors leading to such defects in a cohort study. *J Endod.* 2009;35:129-32.
27. Lopes HP, Britto IMO, Elias CN, Oliveira JCM, Moreira EJM, Siqueira Jr JF, et al. Influence of rotation speed on the number of cycles to fracture engine-driven ProTaper Universal S2. *Rev bras odontol.* 2009;66:276-9.
28. Yared GM, Bou Dagher FE, Machtou P. Influence of rotational speed, torque and operator's proficiency on ProFile failures. *Int Endod J.* 2001;34:47-53.
29. Cheung GS. Instrument fracture: Mechanisms, removal of fragments, and clinical outcomes. *Endodontic Topics.* 2009;16:1-26.
30. Parashos P, Messer HH. Rotary NiTi instrument fracture and its consequences. *J Endod.* 2006;32:1031-43.
31. Cohen S. Nonsurgical retreatment removal of separated instruments - causes of instruments separation. In: Elsiervier M, editor. *Pathways of the pulp.* 9th ed. Canada; 2007. p. 982-85.
32. Svec TA, Powers JM. Effects of simulated clinical conditions on nickel-titanium rotary files. *J Endod.* 1999;25:759-60.
33. di Fiore PM, Genov KA, Komaroff E, Li Y, Lin L. Nickel-titanium rotary instrument fracture: A clinical practice assessment. *Int Endod J.* 2006;39:700-8.
34. Cohen S, Rc B. *Pathways of the pulp.* 8th ed. St. Louis: Missouri: Mosby, Inc; 2002.
35. Knowles KI, Hammond NB, Biggs SG, Ibarrola JL. Incidence of instrument separation using LightSpeed rotary instruments. *J Endod.* 2006;32:14-6.