

Veruska Ísis Zago

Abordagem Clínica em Instrumentos Fraturados

Universidade Fernando Pessoa
Faculdade de Ciências da Saúde

Porto, 2014

Veruska Ísis Zago

Abordagem Clínica em Instrumentos Fraturados

*Trabalho apresentado à Universidade
Fernando Pessoa como parte dos
requisitos para obtenção do grau de
Mestre em Medicina Dentária*

RESUMO

O Tratamento Endodôntico consiste na remoção do tecido pulpar, vivo ou necrosado do sistema de canais radiculares de um dente, tem evoluído de tal forma, apresentando cada vez melhores resultados . Os meios utilizados na sua execução acompanharam essa evolução. Inicialmente os instrumentos eram de aço carbono, que posteriormente evoluíram para instrumentos de aço inoxidável e mais recentemente, são utilizadas ligas de NiTi, mais maleáveis e flexíveis e também mais resistentes à fratura. Houve também a introdução de limas rotatórias com uso de motor, visando também minimizar a fratura de instrumentos. No entanto a fratura dos instrumentos durante os procedimentos de instrumentação dos canais radiculares continuam a ocorrer.

A fratura de instrumento é um desagradável precalço que pode ocorrer durante a instrumentação do canal radicular. Enquanto a maioria das limas de aço inoxidável parecem falhar devido à quantidade excessiva de torque, a ação combinada de tensão torsional (cisalhamento) e cargas cíclicas (por exemplo, a fadiga resultante da flexão rotacional ou torção repetitiva) são responsáveis pela fratura de limas de NiTi.

Os fatores que afetam o modo e a incidência das falhas incluem: a técnica de instrumentação, o uso de motor de torque controlado, a dimensão e a condição da superfície do instrumento, velocidade de rotação, raio e o ângulo) de curvatura do canal, a presença de acesso em linha reta, e a ausência de interferências coronárias até à porção apical do canal.

Com o aumento, hoje em dia, da popularidade das limas rotatórias de NiTi, parece que há mais casos de fraturas de limas de NiTi do que de aço inoxidável, mas relatos têm indicado uma comparável prevalência para ambos. Se ocorrer a fratura, o paciente deverá ser informado sobre o incidente, e devem ser dadas considerações sobre se será ou não necessária a remoção do fragmento.

A localização do segmento fraturado deve ser determinada, pois este é provavelmente o principal fator determinante para o sucesso da sua remoção. É aconselhável que se tente ultrapassar o fragmento antes da tentativa de remoção. Os dispositivos ultrassônicos parecem ser mais úteis para estes casos. De qualquer maneira, a presença de um fragmento fraturado, por si só, pode não afetar adversamente o resultado do tratamento endodôntico. O sucesso do tratamento depende do adequado desbridamento e desinfecção do sistema de canais radiculares e evitando a reinfecção através de uma restauração coronária de boa qualidade.

ABSTRACT

The Endodontic Treatment, which consists in removing the pulp tissue of a tooth, alive or dead, has evolved to deliver better results for the patient. The instruments used in the Endodontic Treatment accompany this evolution. In the past the instruments were made of carbon steel, which later evolved into stainless steel instruments and more recently, NiTi alloys, more malleable and flexible and also more resistant to fracture, are used. There was also the introduction of rotary files using a controlled engine, also aiming to minimize fracture of instruments. However the fracture of instruments during preparation of root canals during the Endodontic Treatment will still occur.

While most stainless-steel instruments appear to fail by excessive amounts of torque, the combined action of torsional (shear) stress and cyclic loading (i.e. fatigue, as a result of rotational bending, or repeated torsion) is responsible for the breakage of NiTi rotary files in use.

The factors that affect the incidence of failures include: the technique of instrumentation, the use of controlled torque motor, the size and condition of the surface of the instrument, rotation rate, radius and angle of canal curvature, the presence of straightline access, and a 'glide path' to the apical portion of the canal.

With increasing today, the popularity of rotary NiTi files, it seems that there are more cases of fractures of NiTi files than stainless steel, but reports have indicated a comparable prevalence for both. If fracture occurs, the patient should be informed about the incident, and considerations about whether or not to remove the fragment should be given.

The location of the broken segment should be determined, as this is probably the main determinant for the success of fragment removal. It is advisable to try to bypassing the fragment before attempting removal. Ultrasonic devices seem to be more useful in these cases. However, the presence of a broken fragment alone cannot adversely affect the results of endodontic treatment. Successful treatment depends on proper debridement and disinfection of the root canal system and prevent reinfection by a good quality coronal restoration.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu filho e marido que me apoiaram e incentivaram-me a conseguir ultrapassar todas as adversidades que surgiram ao longo do percurso para a obtenção do grau de mestre.

Ao meu orientador, Professor Dr. Duarte Guimarães, muito obrigada por toda a atenção e ajuda dispensada.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	i
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	ii
Introdução	1
Materiais e Métodos	3
Desenvolvimento	4
I. Tratamento Endodôntico	4
1. Evolução e Tipos de Instrumentos Endodônticos	5
i . Limas Manuais de Aço Inoxidável	5
ii . Limas de NiTi	6
II. Tipos de Fratura de Instrumentos.....	6
1. Fratura por Torção	9
2. Fratura por Fadiga.....	9
3. Fratura por Fadiga Torsional	10
4. Fratura por Tensões de Flexão e Torsão.....	11
III. Fatores que contribuem para a fratura de instrumentos durante o tratamento endodôntico	12
1. Calibre das Limas.....	13
2. Técnicas de Instrumentação	13
3. Uso de motor com controlo de torque	15
4.Velocidade de Rotação	15
5. Efeito da Esterilização.....	16
6. Efeitos da Superfície do Instrumento	16
7. Outros Fatores que Podem Influenciar a Fratura de Instrumentos.....	17
IV. Prevalência e Resultados Clínicos.....	18
V. Abordagem Clínica para Minimizar o Risco de Fratura do Instrumento Durante o Procedimento Endodôntico	20
VI. Abordagens Clínicas de Remoção do Instrumentos Fraturados	26

1. Dispositivo Ultrassônico	27
2. Tubos de Extração	28
3. Outros Métodos de Remoção de Fragmentos	31
i . Canal Finder	31
ii. Métodos Químicos	31
4. Bypass de Instrumentos Fraturados no Interior Radicular.	32
5. Obturação do canal radicular com instrumentos fraturados.	32
6. Cirurgia apical	33
7. Abordagem na remoção de instrumentos	37
8. Técnicas Futuras	40
i . Remoção por Laser	40
ii . Dissolução do fragmento através de processo Eletroquímico	41
Conclusão	42
Referências Bibliográficas	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Métodos de imposição de curvatura sobre instrumentos rotatórios de NiTi...	10
Figura 2: Um acesso em linha reta (DIRETA) irá alongar efetivamente o raio de curvatura, e assim, suavizar a tensão (dobra) imposta ao instrumento, ex. $R_2 > R_1$	21
Figura 3: Representação esquemática do movimento recíprocante.....	23
Figura 4: VDW.SILVER® Reciproc® (à direita) e VDW.GOLD® Reciproc® (à esquerda).....	24
Figura 5: Limas Reciproc®	24
Figura 6: Motor WaveOne® da Dentsply®	25
Figura 7: Limas WaveOne® da Dentsply®	25
Figura 8: Kit Masserann	29
Figura 9: Endo Extractor	29
Figura 10: iRS - Instrumental Removal System.....	29
Figura 11: Kit Cancelier	30
Figura 12: Exemplo de Apicectomia	35
Figura 13: Três raízes preenchidas com MTA cinzento.....	37
Figura 14: Radiografia periapical do paciente estudado por Kahler 2011	39
Figura 15: Radiografia periapical tirada logo após a obturação com MTA do dente retratado do paciente estudado por Kahler 2011	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

mm – Milímetros

° - Graus

% - Percentagem

MTA - Agregado Trióxido Mineral

RPM - Rotações por minuto

iRS - Instrument Removal System

TE - Tratamento Endodôntico

Introdução

A Endodontia, é uma das especialidades da Medicina Dentária que tem como objetivo a preservação do dente e eliminação da dor por meio de prevenção, diagnóstico, tratamento e controlo das alterações da polpa e dos tecidos periapicais.

O tratamento endodôntico (TE), muito utilizado nessa área da Medicina Dentária, requer o preparo do canal radicular para a remoção de patógenos microbianos presentes no sistema de canais radiculares, sendo essa etapa provavelmente a mais importante deste tipo de tratamento. Como a desinfecção do sistema de canais radiculares é alcançada pelo desbridamento e uso de irrigantes e medicamentos, o alargamento do espaço do canal radicular é essencial para facilitar o fluxo do agente irrigante (Gulabivala et al., 2004) bem como para a posterior obturação do canal. Para permitir esse tratamento, são utilizados instrumentos endodônticos indispensáveis para cortar dentina e no alargamento do espaço do canal. Já houve sugestões de uma técnica sem instrumentação para limpar e obturar os canais radiculares (Lussi et al., 1995; Lussi et al., 1999; Lussi et al., 2002). No entanto, esta técnica ainda é, na melhor das hipóteses, experimental e não resolve todos os problemas para que possa ter uma aceitação generalizada.

A grande maioria dos instrumentos endodônticos contemporâneos manuais são feitos em aço inoxidável e os rotatórios em níquel-titânio ou suas variações. Contudo, nenhum material é infalível. Um instrumento irá fraturar nos casos em que houver aplicação de força superior à sua resistência, ou se houver uma trinca no mesmo que se propague de tal forma que a secção transversal remanescente intacta seja incapaz de suportar a carga de trabalho usual. Um instrumento fraturado no canal é uma preocupação para o paciente e, assim, para o dentista, pois a maioria dos pacientes não deseja manter tal fragmento (metálico) no seu dente (mesmo que possa não estar em contato com os tecidos periapicais). (Cheung, 2009)

As limas ou alargadores de aço inoxidável são tipicamente operados de forma manual; frequentemente a fratura é resultado do excesso de uso e associada a uma

distorção pré-existente do instrumento (Gutmann, Dumsha, Lovdahl, 2006). Este fato provavelmente serviu de base para a norma ISO/ANSI que é baseada em testes de cisalhamento. O desgaste e a distorção das lâminas são precursores da fratura e sinais de que o instrumento deve ser descartado, e ocorrem com maior frequência em limas de aço inoxidável operadas manualmente do que nas rotatórias de níquel-titânio (Zuolo, Walton, Murgel, 1992). Houve uma percepção de que as limas de NiTi podem fraturar sem qualquer sinal de aviso (Sattapan et al., 2000; Ankrum, Hartwell, Truitt, 2004). As limas rotatórias de NiTi são expostas à flexão rotacional quando usadas em canais com curvaturas acentuadas; haverá falha de fadiga do material se a resistência à fadiga for excedida.

A fratura de instrumento pode ser um acidente desagradável durante o TE. Enquanto a maioria dos instrumentos de aço inoxidável parece falhar pela quantidade excessiva de força, a ação combinada de torção e carga cíclica (isto é fadiga, como um resultado da flexão rotacional ou torção repetitiva) é responsável pela fratura das limas rotatórias de NiTi. Fatores que afetam a incidência e o tipo de falhas incluem a técnica de instrumentação, o uso de motor com torque controlado, a dimensão e a condição da superfície do instrumento, a velocidade de rotação, o raio (e, até certa extensão, o ângulo) da curvatura do canal, e a existência de acesso em linha reta e um caminho patente até à porção apical do canal radicular. Nos casos em que a fratura ocorrer, o paciente deverá ser informado e deverão ser feitas considerações sobre se o fragmento deverá ou não ser removido. Se conduzido de forma correta, a presença de um fragmento por si só não afetará adversamente o resultado final do TE.

Materiais e Métodos

O propósito desta revisão bibliográfica é examinar os mecanismos e fatores contribuintes, prognósticos e conduta perante as fraturas de instrumentos. E como as limas de níquel-titânio induziram um significativo progresso no tratamento endodôntico, devido à sua flexibilidade e eficiência de corte, permitindo preparar canais mais fácil e rapidamente, ênfase será dada à separação de limas rotatórias de níquel-titânio e às formas de evitar que isso ocorra na prática clínica.

Para essa revisão utilizaram-se artigos científicos, periódicos e livros publicados entre 1989 e 2013. As pesquisas foram realizadas nas bibliotecas da Universidade Fernando Pessoa e da Faculdade de Medicina Dentária de Lisboa, principalmente usando o motor de busca *PubMed*.

As palavras-chave utilizadas foram “NiTi files Break in”, “Fractured instrument removal”, “Fatigue failure in NiTi files”, “Torsional failure in NiTi files”, “Instruments retrieval”

Desenvolvimento

I. Tratamento Endodôntico

O TE consiste na remoção do tecido pulpar, vivo ou necrosado, eliminar eventuais invasores e, por fim, “reocupar” o espaço do canal, através da obturação (Souza, 2006).

Todas as fases do TE constituem uma sequência lógica e interdependente. Nenhuma etapa pode ser negligenciada, pois as subsequentes poderão ficar comprometidas e transformar o tratamento num fracasso indesejável. A primeira etapa, a abertura coronária, constitui elevada importância. Dela dependerá o correto preparo do canal e a perfeita obturação. O alargamento do espaço do canal radicular é essencial para facilitar o fluxo do agente irrigante (Gulabivala et al., 2004) bem como para a posterior obturação do sistema de canais radiculares.

A abertura e alargamento do canal radicular é feita através de instrumentos endodônticos. A sua grande maioria é feita em aço inoxidável ou níquel-titânio, contudo, nenhum material é infalível.

As limas de níquel-titânio, foram introduzidas no preparo dos canais radiculares por apresentarem maior resistência à fratura por torção, maior módulo de elasticidade, que permite o retorno à sua forma original e maior elasticidade. Porém, mesmo assim, apresentam fraturas quer por torção, quer por fadiga.

1. Evolução e Tipos de Instrumentos Endodônticos

As limas endodônticas são os instrumentos utilizados na modelagem do canal radicular. São divididas em dois grandes grupos: as manuais, que podem ser de aço inoxidável ou de NiTi, e as rotatórias que são de NiTi.

As primeiras limas manuais eram feitas de cordas de piano, que esticadas e torcidas, produziam a configuração das limas que ainda é utilizada atualmente. O primeiro instrumento endodôntico foi idealizado por Maynard em 1838, a partir de uma mola de relógio (Ring, 1995).

No início, os instrumentos Endodônticos eram fabricados em aço de carbono (Cohen, Hargreaves, 2011), e depois evoluíram para as limas de aço inoxidável e de NiTi.

A Associação Americana de Endodontistas padronizou os instrumentos endodonticos utilizando o padrão ISO em 1962. Os padrões estabelecidos consideram a geometria, a conicidade uniforme de 0,02 mm por mm e o tamanho das limas (Zinelis 2002).

i . Limas Manuais de Aço Inoxidável

As limas de aço inoxidável ganharam ao longo do tempo cada vez mais preferência devido às vantagens que apresentavam principalmente em relação à tenacidade, dureza, capacidade de corte, resistência à corrosão e à fratura (Lopes & Siqueira Jr., 2004). Porém, ainda assim, a rigidez das ligas de aço inoxidável por não possuírem flexibilidade necessária para serem usadas em movimentos rotatórios no interior de canais curvos, apresenta alta incidência de fratura (Walia et al., 1988; Spangberg, 2000).

ii . Limas de NiTi

As ligas de NiTi possuem as propriedades de baixo módulo de elasticidade e o efeito de "memória de forma" (Beuhler & Cross, 1969), e devido a isso os instrumentos endodônticos confeccionados com esse tipo de ligas é mais flexível e menos sujeito à fratura por torção.

As limas de NiTi podem ser manuais ou rotatórias. Walia et al. em 1988, a partir de um fio ortodôntico de secção circular submetido a processo de microusinagem, confeccionaram o primeiro instrumento de NiTi.

Na década de 90, os fabricantes de instrumentos começaram a produzir as limas manuais de NiTi, nos mais diversos formatos visando uma cinemática específica de movimento no interior do canal radicular (Serene et al., 1995).

Com o advento da aplicação das ligas de NiTi na fabricação de instrumentos endodônticos, houve a possibilidade de criar instrumentos rotatórios acionados a motor que giram no sentido horário e anti-horário. Alguns desses motores têm controle de torque, enquanto outros utilizam um sistema de movimento recíprocante, que será abordado nos próximos capítulos.

II. Tipos de Fratura de Instrumentos

Muitos estudos foram feitos para que se compreenda o fenómeno de fratura do instrumento de NiTi. Muitos desses estudos são análises efetuadas aos instrumentos utilizados em clínica e que apresentaram falhas.

Sattapan et al., 2000 analisaram durante 6 meses 378 limas rotatórias de NiTi da marca Quantec® que foram descartadas. Constatou-se que 28% delas apresentaram deformação e 21% fraturas, sendo que 12% dessas fraturadas apresentaram deformação plástica e 9% sem deformação.

Arens et al., 2003 analisaram 786 ProFile® de conicidade 0,04 (uso único) descartadas durante 4 semanas e constataram que 13,7% delas apresentaram deformações e 0,9% fraturaram.

Al-Fouzen, 2003 analisou 449 ProFile® de conicidade 0,04 usadas durante o tratamento de 419 molares e constatou que 4,2% das limas apresentaram deformações e 4,6% foram fraturadas.

Peng et al., 2005, constataram que 22% de limas ProTaper® S1 apresentaram fraturas e 0,87% foram deformadas. O estudo analisou 122 limas descartadas em uso clínico.

Alapati et al., 2005 analisaram 175 ProFile®, 595 GT® Rotatórias e 52 ProTaper e concluíram que 8% das ProFile, 3% das GT Rotatórias e 23% das Pro Taper fraturaram. As análises foram feitas em limas descartadas numa clínica de graduação.

Parashos et al., 2004 analisaram 7159 instrumentos de marcas variadas que foram descartados por 14 endodontistas de 4 países diferentes e verificaram que 12% dessas limas tiveram deformações e 5% fraturaram.

Di Fiore et al., 2006 analisaram 6661 instrumentos numa clínica de graduação em Endodontia, usados em 1235 pacientes, para tratar 3181 canais de 1403 dentes e constatou-se a fratura de 26 limas ou 0,39%.

Spili et al., 2006 constataram que 0,7% dos canais tratados com limas de Aço Inoxidável e 0,4% dos canais tratados com limas de Ni-Ti, apresentaram fratura dos instrumentos. Para esse estudo foram analisados 5.103 canais tratados entre 1997 e 2003.

Iqbal et al., 2006 constataram fragmentos de Limas de Aço Inoxidável em 0,25% e fragmentos de Limas de Ni-Ti em 1,7% de 4865 dentes tratados numa clínica de graduação.

Muito outros estudos também foram efetuados, porém, os seus resultados não puderam ser comparados entre si, devido a existência de muitas variáveis incontrolláveis nesses experimentos.

Muitos estudos examinaram a distorção ou a fratura em detalhes – ou a superfície do fragmento fraturado foi examinada com pouca ampliação ou não foi sequer examinada.

A fratura tem sido categorizada macroscopicamente com base na presença ou ausência de deformação plástica (através do aspeto das lâminas) adjacente ao local da fratura, em ‘torsional’ ou ‘flexural’, respectivamente (Sattapann et al., 2000). Análises fractográficas sistemáticas de alta resolução revelaram dois mecanismos de fratura para as limas rotatórias de NiTi: cisalhamento (torsional) e fadiga (Cheung et al., 2005). Porém, todos esses estudos corroboram com o facto de que tanto a torção como a fadiga cíclica são os dois mais importantes fatores causais da fratura de instrumentos.

1. Fratura por Torção

Um material irá apresentar uma ruptura através de torção quando nele aplicar-se uma força maior que sua resistência à ruptura. Devido à sua ductilidade, o metal irá deformar plasticamente, nos casos em que sua tensão de elasticidade for excedida antes de ocorrer a fratura. (Cheung, 2009).

2. Fratura por Fadiga

Segundo ASTM, a definição de fadiga é a seguinte:

“Processo progressivo e localizado de modificações estruturais permanentes ocorridas num material submetido a condições que produzem tensões e deformações cíclicas que podem culminar em trincas ou fraturas após certo número de ciclos.” (ASM International, 1996, Cheung, Zhang, Zheng, 2011)

As limas de NiTi são susceptíveis à fratura por fadiga, pois são de tamanho pequeno (em relação à maioria das estruturas de engenharia) e são submetidas a um trabalho desgastante (corrosivo) sob uma combinação de torção e curvatura (Cheung, Zhang, Zheng, 2011).

Este é um dos tipos de fenômeno que levam a que a fratura do instrumento que seja dos mais estudados. Isto levou ao surgimento de inúmeros estudos na literatura endodôntica nos últimos anos sobre “resistência à fadiga” (geralmente definida como o número de rotações efetuadas antes que haja a fratura do instrumento), efetuados com várias marcas de limas rotatórias de NiTi. Todos esses estudos tentam simular a rotação de um instrumento dentro de uma curvatura para determinar o quanto este irá durar (em termos de tempo ou em número de rotações) antes que ocorra a fratura por fadiga. Quatro

métodos de imposição de curvatura sobre instrumentos rotatórios de NiTi foram descritos (Figura 1): (a) Tubo curvo metálico (ou uma agulha hipodérmica); (b) Bloco com ranhuras; (c) Rotação contra um plano inclinado; e (d) Rotação flexural de três pontos.

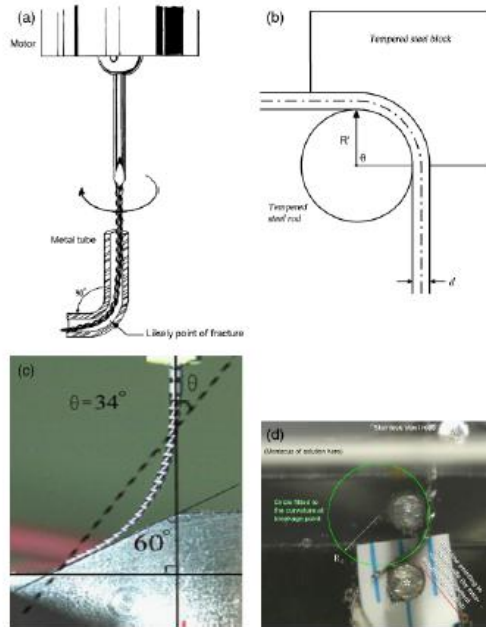


Figura 1: Métodos de imposição de curvatura sobre instrumentos rotatórios de NiTi

3. Fratura por Fadiga Torsional

Alguns motores elétricos especialmente concebidos para limas rotatórias de NiTi têm um mecanismo de controle de torque; o motor pode ser programado para o reverso caso seja atingido um valor de torque predeterminado. Devido a este “controle de torque”, o instrumento poderá ser submetido às repetitivas cargas de torção reversa, e assim, o risco de fratura devido à fadiga torsional será maior.

Há uma escassez de relatos sobre fadiga torsional de instrumentos rotatórios de NiTi. Um estudo de Best et al., 2004, registou o número de ciclos (inversão do sentido da torção) até que ocorresse a fratura do instrumento. O experimento consistiu na rotação no sentido horário da ponta de um instrumento de NiTi (porção de 3 mm de ProFile® calibre 30, conicidade 0,06, Dentsply Maillefer; com a haste sendo rigidamente pinçada) até um certo ângulo, seguido pelo regresso à posição zero. O experimento foi repetido a vários ângulos de torção até que o instrumento pudesse aguentar 10^6 ciclos sem fraturar. Alguns $10^{3,5}$ ou 3.200 ciclos eram atingidos a um ângulo de 25° , e $10^{4,3}$ ou 20.000 ciclos a 10° ; um limite de resistência foi encontrado num ângulo de torção tão baixo quanto $2,5^\circ$, indicando a susceptibilidade das limas de NiTi à fratura por torção.

4. Fratura por Tensões de Flexão e Torsão

A mecânica de um instrumento que também tem como funções cortar ou raspar a parede dentinária do canal enquanto gira num canal curvo é muito mais complexa. Este instrumento é submetido, simultaneamente, tanto a tensões de flexão como de torção (Blum et al., 2003; Kim et al., 2008) com valores que variam de acordo com fatores como a dimensão do canal (Sattapann, Palamara, Messer, 2000; Peters et al., 2003), o desenho do instrumento (Berutti et al., 2003; Da Silva, Kobayashi, Suda, 2005), o método de uso (Schrader, Peters, 2005; Plotino et al., 2007) e taxa de avanço em direção apical (Sattapann, Palamara, Messer, 2000).

Não há nenhum método simples para analisar as várias tensões que atuam sobre o instrumento, mas tem sido sugerido que analisando certos componentes individualmente essas variadas tensões podem ser resolvidas. Portanto, tem sido aceite que sejam analisados isoladamente, os efeitos tanto da tensão de cisalhamento ou de flexão rotacional, examinando-se apenas uma variável. No entanto, deve ser lembrado que tanto a tensão de fadiga como a de cisalhamento podem operar em conjunto, para causar a fratura do instrumento (Barbosa et al., 2007), pois a tensão está concentrada no mesmo local durante a flexão e torção do mesmo (Kim et al., 2008). A resistência ao cisalhamento de instrumentos de NiTi (em torção a 3 mm da ponta) é reduzida significativamente após

o uso simulado ou clínico em canais curvos (Yared, Kulkarni, Ghossayn, 2003; Ullmann, Peters, 2005; Bahia, Melo, Buono, 2006; Ounsi et al., 2007;). A carga cíclica altera o comportamento mecânico dos instrumentos de NiTi (Bahia et al., 2005), bem como a sua microestrutura (Kuhn, Jordan, 2002). Qualquer micro trinca pré-existente iniciada na superfície do instrumento devido à flexão rotacional serviria não só como um fator de concentração da tensão, mas também reduziria a capacidade da secção transversal intata de suportar carga. Assim, não é surpreendente verificar uma redução da resistência final do instrumento como resultado, principalmente quando a região danificada está situada no mesmo local ou perto deste. A presença de fadiga e de características de torção na superfície fraturada têm sido relatadas em algumas limas de NiTi descartadas após seu uso clínico (Wei et al., 2007).

III. Fatores que contribuem para a fratura de instrumentos durante o tratamento endodôntico

Segundo a literatura existem inúmeros fatores que contribuem para a fratura de instrumentos durante o tratamento endodôntico, tais como :

- Tamanho das Limas;
- Técnicas de Instrumentação;
- Uso de motor com controlo de torque;
- Velocidade de Rotação;
- Efeito da Esterilização.

1. Calibre das Limas

Estudos prévios demonstraram que instrumentos menores (tamanhos 15 e 20) são propensos à distorção quando em uso clínico ou simulado, provavelmente como resultado da tensão sobre a secção transversal relativamente menor; conseqüentemente é recomendado que esses instrumentos sejam usados uma única vez, ou seja, instrumentos descartáveis (Bortnick, Steiman, Ruskin, 2001; Yared, Kulkarni, 2002;). A susceptibilidade à fratura de instrumentos menores é geralmente devido ao tamanho do instrumento em relação ao canal radicular.

Park et al, 2010 sugerem que o tamanho relativo do instrumento e do canal podem determinar a quantidade de carga torsional exercida num instrumento durante a preparação de um canal. Instrumentos menores podem ficar bloqueados (presos) em áreas estreitas do canal, havendo fratura do mesmo, quando o torque necessário para desprender o instrumento exceder em força, a resistência do instrumento à torção. Sendo assim, afirmam que é plausível concluir, que a falha por cisalhamento ou torção em limas rotatórias de NiTi, podem ocorrer devido ao instrumento ficar repetidamente preso em partes mais estreitas do canal, durante o ato clínico.

2. Técnicas de Instrumentação

Algumas técnicas de instrumentação poderão influenciar na ocorrência de fraturas de instrumentos. Alguns autores sugerem técnicas que visam diminuir a incidência de fraturas. Técnicas como o pré-alargamento do canal, a instrumentação coroa ápice (crown-down), a incorporação de movimento intermitente (reciprocante)(+ correto reciprocante) e a não reutilização das limas de NiTi, são alguns desses exemplos.

O pré-alargamento do canal até um tamanho de ISO 15 ou 20 no comprimento de trabalho reduz a tensão de torção gerada no instrumento e, portanto, reduz a hipótese do instrumento fraturar (Sattapann, Palamara, Messer, 2000; Peters et al., 2003).

Uma abordagem de instrumentação coroa ápice, que consiste em alargar a porção coronária antes da preparação apical, também poderá reduzir a incidência da fratura de instrumentos, (principalmente para os de menor tamanho, presumivelmente devido à falha torsional), pois esta técnica além de reduzir a tensão de torção, também altera a área onde essa tensão é exercida, da ponta do instrumento (onde ocorrem a maior parte das fraturas) para o corpo do instrumento. O conceito de se ter uma trajetória livre, preferencialmente do tamanho ISO de um instrumento 20 no mínimo, no comprimento de trabalho, antes do uso das limas rotatórias de NiTi tem sido advogado (Blum et al., 2003; Patiño et al., 2005)

Incorporar um movimento de bicado “*pecking and motion*” geralmente parece aumentar a vida em fadiga (Li et al., 2002; Yao, Schwartz, Beeson, 2006), pois a carga cíclica é espalhada sobre a extensão do instrumento ao invés de atuar unicamente em um local em particular.

A reutilização de um instrumento aumenta consideravelmente o risco de separação. A resistência à fadiga de um instrumento é comprometida após o uso clínico repetitivo (Plotino et al., 2006; Vieira et al., 2008). Alguns estudos propõem que as limas de NiTi sejam tratadas como instrumentos descartáveis, ou seja, usadas apenas uma vez. Arens et al 2003, analisaram os tipos de defeito apresentados por limas de NiTi fraturadas que foram utilizadas apenas uma vez e constataram que mesmo profissionais dentistas experientes ao utilizarem limas de NiTi novas, podem fraturá-las no ato clínico e portanto, sugerem que, para absoluta segurança, o endodontista deverá utilizar uma abordagem de uso único, ou seja, tratar as limas de NiTi como se fossem instrumentos descartáveis que deverão ser inutilizados logo após o seu uso. Sendo assim, o uso de uma lima por paciente parece ser positivo para a prevenção de fratura das limas rotatórias. Outra vantagem seria a facilidade de controlo de infecção cruzada.

3. Uso de motor com controle de torque

O “motor com torque controlado”, tem um circuito de realimentação que limita o torque máximo liberado para a peça de mão (Gambarini, 2000). Uma vez que se atinja o torque pré-estabelecido (pré-programado pelo fabricante, no circuito do motor, para inúmeros tipos e formas de limas) o motor, ou parará, ou girará em sentido reverso, para evitar a acumulação de tensão no instrumento. O uso deste tipo de motor controlado tem reduzido o número de instrumentos fraturados, principalmente quando operados por operadores inexperientes em canais de difícil acesso (Yared, Kulkarni, 2002). O uso frequente da função de auto-reverse, no entanto, acarreta um aumento do risco de fadiga por torção do material.

4. Velocidade de Rotação

Há alguma controvérsia sobre o efeito que a velocidade de rotação exerce sobre a fratura por fadiga em instrumentos de NiTi. Um estudo relatou que não há qualquer efeito para taxas de rotação (para o eixo paralelo dos instrumentos LightSpeed) entre 750 e 2.000 rpm (Pruett, Clement, Carnes, 1997). Outros demonstraram que o mais longo tempo de vida em fadiga é com limas (das lâminas de ProFile: Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) rotacionadas a 100 rpm, comparativamente com 200 rpm e 350 rpm, e que a fratura da lima e sua deformação acontece com menor incidência usando baixas velocidades de rotação (Martin et al., 2003). Outro estudo reportou uma menor quantidade de deformação a altas velocidades de rotação (Daugherty, Gound, Comer, 2001). Porém, não podemos descartar a importância deste fator para a fratura de instrumentos.

5. Efeito da Esterilização

De Melo et al., 2002, encontraram um melhor tempo de vida em fadiga de instrumentos de NiTi, após 5 ciclos de esterilização por calor seco (170⁰C durante 1h e depois arrefecidos na estufa durante 1h, e atribuíram esse fato ao aumento da microdureza que foi observada após submeter o instrumento a tal regime de esterilização. A longa duração do processo (1 hora e depois o arrefecimento lento) a uma temperatura relativamente alta (170⁰C) pode ter ajudado a reduzir a martensita residual resultante do processo de fabricação (Liu, 1999), o que pode explicar em parte o aparente aumento da dureza. A microestrutura da (sub)superfície do material pode também ter sido alterada pelo processo de esterilização, favoravelmente ao comportamento de fadiga (Viana et al., 2006). Isso demonstra que a esterilização das limas poderá influenciar a sua resistência à fratura.

6. Efeitos da Superfície do Instrumento

Defeitos de superfície são prejudiciais não apenas para a vida em fadiga, mas também para a resistência de um componente. Foi demonstrado que a resistência à tração de um fio de NiTi polido eletroliticamente é maior do que um que não seja polido, submetidos a um aumento (monotónico) de carga (Miao et al., 2002). A vida em fadiga de alto ciclo de um material de NiTi certamente deverá beneficiar-se caso tenha uma superfície lisa após o polimento eletrolítico (Suresh, 1998, Collins, 1993). No entanto, a literatura dentária é equivocada no que diz respeito a qualquer efeito benéfico que este tratamento de superfície no instrumento possa trazer. Alguns indicaram uma melhoria na resistência à fratura do instrumento de NiTi quando testados a seco e em duas curvaturas específicas em teste de flexão rotacional (Anderson, Price, Parashos, 2007). Em contraste, outros falharam em demonstrar um efeito benéfico do polimento eletrolítico (Cheung, Shen, Daryell, 2007; Herold, Johnson, Wenckus, 2007). Tem sido indicado que a fadiga de baixo ciclo é orientada, principalmente, pelas propriedades do material (ductilidade em particular) ao invés de simplesmente ter uma superfície lisa (ASM International 1996; Schijve, 2001), e que o polimento eletrolítico, falha na inibição do desenvolvimento de

micro fraturas na superfície do instrumento após uso em dentes extraídos (Herold, Johnson, Wenckus, 2007).

Outro método de modificação da superfície é através de revestimento por nitreto (Schafer, 2002; Tripi, Bonaccorso, Condorelli, 2003). A camada fina (poucos microns de espessura), tenaz e dura de nitreto de titânio depositada na superfície do instrumento demonstrou oferecer ao mesmo uma maior resistência ao desgaste e manter a integridade das lâminas cortantes e a lisura da superfície, mesmo após o uso repetitivo (Schafer, 2002). Entretanto a informação disponível sobre o efeito desse revestimento sobre o comportamento de fadiga de baixo ciclo em limas de NiTi é ainda escasso.

7. Outros Fatores que Podem Influenciar a Fratura de Instrumentos

Na maioria dos estudos (simulados) efetuados sobre a capacidade de modelagem das limas de NiTi, as limas rotatórias ou foram tratadas como materiais descartáveis ou usadas em um número limitado de dentes e ainda, o acesso ao canal radicular era sempre ótimo. Consequentemente, estes testes de laboratório apenas indicam o risco relativo de deformação e separação sob um conjunto particular de condições, para as marcas de instrumentos examinados.

Inúmeras variáveis clínicas como, acessibilidade ao canal, força direcionada apicalmente, uso de movimento intermitente ou técnica híbrida, e outras variáveis relacionadas com o operador, não foram reproduzidas – estas outras variáveis podem ser fatores mais importantes associados à fratura de instrumento do que o desenho e marcas dos instrumentos.

A proficiência do operador também é tida como um fator crucial em relação à fratura de instrumentos durante o seu uso. Yared & Kulkarni (Yared & Kulkarni, 2002) avaliaram a incidência de falhas de instrumentos rotatórios de Ni-Ti do tipo ProFile®

0,04 quando usados por um operador inexperiente, associado a diferentes motores e sob acessos limitados. Os resultados apresentaram alta incidência de deformação e separação nos motores a ar e nos motores elétricos de alto e baixo torques e durante o início do preparo dos canais. Concluíram que é mais segura a utilização de um motor com torque muito baixo (170 rpm) para operadores inexperientes no tocante à prevenção de fraturas e deformações dos instrumentos.

IV. Prevalência e Resultados Clínicos

A incidência de fratura de instrumentos reportada na literatura tem sido baseada em diferentes denominadores. Por exemplo, uma taxa de fratura de 0,4-23% foi baseada no número total de instrumentos usados ou descartados da clínica (onde esses eram sujeitos a múltiplos usos) (Sattapann et al., 2000; Al-Fouzan, 2003; Parashos, Gordon, Messer, 2004; Peng et al., 2005; Cheung et al., 2005; Alapati et al., 2005; Shen et al., 2006; Di Fiore et al., 2006; Cheung et al., 2007; Wei et al., 2007), enquanto que algumas outras (0,25-2,4%) referem-se à prevalência de encontrar, na boca, um segmento de lima fraturada num dente ou canal submetido a tratamento endodôntico (Spili, Parashos, Messer, 2005; Iqbal, Kohli, Kim, 2006; Wolcott et al., 2006). Clinicamente, alguns fragmentos de instrumentos fraturados, provavelmente devem ter sido removidos e, assim, a quantidade retida na boca do paciente deve ser menor do que a quantidade total de instrumentos fraturados registrados. Numa revisão da literatura, Parashos, Messer, 2006, estimaram que a prevalência da presença de fragmentos retidos no canal radicular do dente tratado é de 1,6% (na sua maioria limas de aço Inoxidável); o valor para limas rotatórias de NiTi é ainda mais baixo, por volta de 1% de todos os canais tratados. Este número pode ainda ser afetado pelo fato do instrumento rotatório ser reutilizado, entre outras coisas. Salienta ressaltar que para cerca de 1% das limas de NiTi novas, foi constatada a quebra ainda no seu primeiro uso (Arens et al., 2003).

O prognóstico de dentes tratados endodonticamente, complicados pela presença de um instrumento fraturado, tem sido controverso. Estudos prévios sugerem uma taxa significativamente maior de fracassos para dentes que contenham um instrumento

fraturado, com base num número limitado de dentes afetados, especialmente quando a separação ocorreu em dentes que anteriormente continham uma polpa necrótica (Strindberg, 1956; Sjogren et al., 1990). Seltzer et al., 1967, assim como Grossman, 1968, também sugeriram que a presença de instrumentos fraturados em dentes com polpa vital teriam um prognóstico melhor do que naqueles com polpa necrótica. Num estudo retrospectivo, Crump & Natkin, 1970, verificaram que 2% dos dentes (n=178) tratados numa clínica de um estudante continham um instrumento (de aço inoxidável) fraturado. Eles compararam estes casos com outros dentes similares, porém sem instrumento fraturado (n=400) de acordo com o tipo de dente, número de canais, material obturador e a presença ou ausência de lesões periapicais pré-operatórias, e não encontraram nenhuma diferença significativamente perceptível na taxa de fracasso.

Noutro estudo de caso controlado, mais recente, de pacientes tratados por especialistas em Endodontia, o resultado do tratamento também se mostrou não ser afetado pela presença de um instrumento fraturado, sua localização e se houve ou não passagem pelo fragmento; o principal resultado determinante foi o estado pré-operatório do periápice do dente (Spili, Parashos, Messer, 2005). Uma taxa de sucesso de 86% (para dentes com lesões periapicais radiolúcidas pré-operatórias) a 98% (sem lesões pré-existentes) foi relatada para aqueles que continham um instrumento fraturado, e esta taxa não foi estatisticamente diferente entre fragmentos de limas de NiTi e de limas de aço inoxidável (Spili, Parashos, Messer, 2005).

De maneira geral, o prognóstico tem mais a ver com a limpeza e assepsia do sistema de canais radiculares do que propriamente com a presença de um fragmento de instrumento fraturado (Lin, Rosenberg, Lin, 2005).

V. Abordagem Clínica para Minimizar o Risco de Fratura do Instrumento Durante o Procedimento Endodôntico

Considerando que as limas de NiTi podem falhar por um mecanismo ou pela combinação de dois mecanismos – cisalhamento (isto é, excesso de torção) ou fadiga (que pode ser torção cíclica ou flexão rotacional) – certas precauções visando cada um desses mecanismos devem ser planejados.

Para combater o acúmulo da tensão de cisalhamento numa lima rotatória de NiTi:

- primeiro obtenha um acesso em linha reta até ao comprimento de trabalho com um lima K manual, de calibre ISO 20 ou melhor ainda, 25.
- use um motor elétrico com torque controlado com as configurações recomendadas para aquele determinado instrumento avance a lima suave e gradualmente no canal, até que encontre resistência;
- adote uma seqüência de instrumentação que englobe várias conicidades para reduzir a área de contato, conseqüentemente obtendo uma menor tensão de cisalhamento no instrumento (Schrader, Peters, 2005).

Para prevenir a fratura por fadiga, as seguintes recomendações são propostas:

- obtenha um acesso em linha reta até ao terço apical do canal – assim, diminuindo a pressão sobre o instrumento pelo alongamento do raio de curvatura (Figura 2);

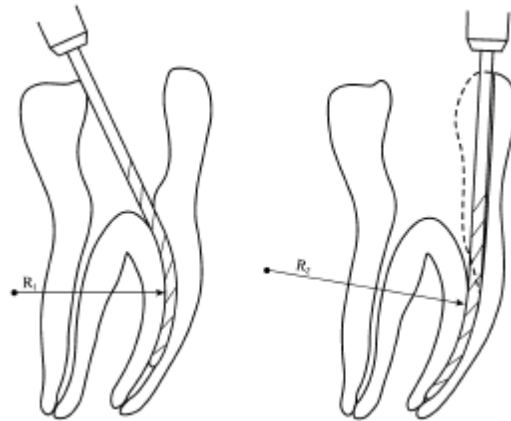


Figura 2: Um acesso em linha reta (DIRETA) irá alongar efetivamente o raio de curvatura, e assim, suavizar a tensão (dobra) imposta ao instrumento, ex. $R_2 > R_1$

- evite usar uma lima rotatória com grande conicidade (0,06 ou maior) para canais com curvatura na porção média da raiz (pois quanto maior diâmetro estará mais susceptível a falha por fadiga);
- evite o uso de uma lima rotatória em canais abruptamente curvos (que tenham um raio muito pequeno de curvatura, e portanto uma maior tensão de superfície será imposta ao instrumento);
- diminua a taxa de rotação da lima, para adiar o aparecimento de fadiga;
- use uma maior margem de segurança para o uso de instrumentos em conjunto com hipoclorito (conte com os efeitos nocivos da corrosão) (Cheung, Daryell, 2008);
- evite desencadear o modo de “auto-reverse” (para reduzir o risco de fadiga torsional) – isto pode ser feito ao avançar o instrumento devagar, ou acionar o instrumento para uma configuração de alto torque.

Além das recomendações supracitadas, é importante observar que alguns estudos efetuados fazem menção quanto ao número máximo de vezes que uma lima deverá ser utilizada. Em 2010, Ma H., Wang Q e Wang LL efetuaram um estudo com 432 pacientes onde foram utilizadas limas Pro Taper. Desse experimento resultou a fratura de 27 limas,

ou, 10% do total de limas utilizadas, sendo que essas fraturas ocorreram na maioria das vezes em canais de molares. Análises estatísticas demonstraram ainda, que limas SX, S1 e F1 foram mais susceptíveis à ruptura que limas de outros tamanhos. Não obstante tudo isso, os autores verificaram também que a taxa de fratura desses instrumentos aumentava significativamente quando usados mais de 5 vezes. Sendo assim, também é recomendado:

- mais cuidado no preparo de canais radiculares de molares;
- que limas de tamanho SX, S1 e F1 sejam operadas com maior precaução devido à terem maior susceptibilidade para a fratura;
- que essas limas sejam descartadas antes que se atinja o número de 5 vezes de uso.

Em um estudo, Di Fiore (2007) menciona outras ações que podem minimizar a fratura de instrumentos, como:

- Instrumentação manual antes de usar o instrumento rotatório (Roland et al., 2002; Patino et al., 2005; Berutti et al., 2004) – Três estudos demonstraram que a instrumentação manual do canal com limas de aço inoxidável antes do uso de instrumentos rotatórios diminuiu a incidência de fraturas de limas rotatórias de NiTi. Roland et al (2002) e Patino et al (2005) usaram as limas de aço inoxidável, para alargar canais curvos em molares e Berutti et al alargou manualmente até o tamanho de 20, canais curvos simulados em blocos de resina, criando uma “ladeira” para os instrumentos rotatórios.
- Correta irrigação e lubrificação – A irrigação e a lubrificação são essenciais para que se consiga o desbridamento adequado dos canais radiculares. Estudos de microscopia eletrônica, sobre a eficácia de limpeza do canal radicular indicam que detritos originados durante a instrumentação ficam presos nos canais radiculares e que a irrigação é necessária para sua remoção. Uma preparação de peróxido de uréia e ácido etileno diamino tetra-acético como lubrificante é uma combinação comumente usada para a preparação de canais. Irrigantes e lubrificantes reduzem o entupimento dos canais, a resistência friccional e sobrecarga mecânica, e desse

modo diminuem a tensão torsional exercida sobre os instrumentos. Sendo assim, é recomendado que durante a prática de tratamento de canais radiculares com o uso de instrumentos rotatórios, os instrumentos sejam lubrificados e os canais sejam irrigados, generosa e copiosamente.

- experiência do operador de instrumentos rotatórios de NiTi – Estudos demonstraram que as maiores taxas de fratura de instrumentos rotatórios de NiTi ocorrem com operadores inexperientes. Os instrumentos rotatórios tendem a ficar enroscados e presos nos canais radiculares, o que faz com que fiquem sujeitos a altos níveis de torque à medida que isso acontece dentro dos canais. Sendo assim, a sensibilidade do operador para que esses efeitos sejam minimizados, é primordial e essa habilidade somente será desenvolvida através da prática. Yared et al. (2001, 2002), em inúmeras e extensas investigações, demonstraram que o treinamento pré-clínico do uso de instrumentos rotatórios de NiTi em dentes molares extraídos, é crucial para evitar a fratura de instrumentos. Sendo assim é recomendável que operadores inexperientes efetuem treinamentos pré-clínicos para aumentar sua experiência antes de usar instrumentos rotatórios de NiTi em pacientes e após isso, quando forem efetuar o ato clínico em pacientes, procederem com muito cuidado para ganhar experiência.

A utilização de sistemas com movimento recíprocante também, pode minimizar o risco de fratura das limas de NiTi. As limas de NiTi quando submetidas a rotação contínua num espaço curvo podem fraturar por fadiga cíclica (De-Deus et al, 2014).

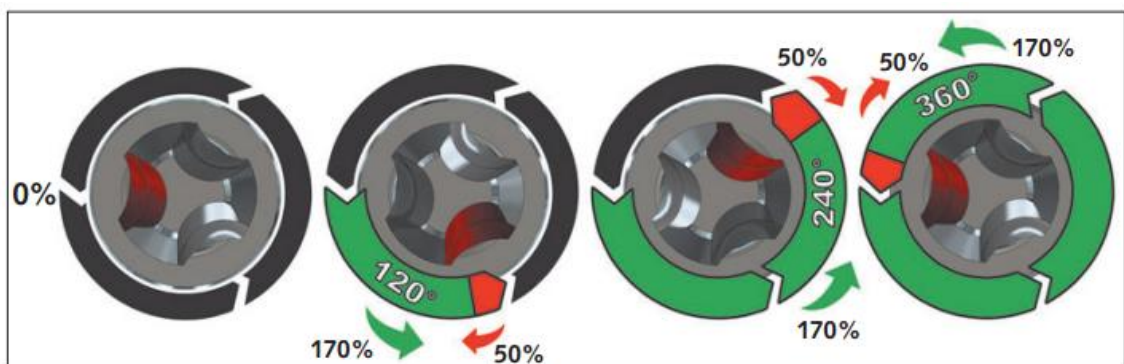


Figura 3: Representação esquemática do movimento recíprocante.

Em 2008, Yared efetuou um estudo onde abordou o uso de uma única lima de NiTi com um movimento onde se alterna o sentido anti-horário (o instrumento avança no canal e agarra a dentina para cortá-la) com o horário (liberta o instrumento), chamado de recíprocante e concluiu que esse tipo de movimento aumenta a vida útil da lima e ainda a resistência deste a fadiga comparativamente a rotação contínua. Foram desenvolvidos dois sistemas de movimentos recíprocante o Reciproc® pela VDW de Munique na Alemanha e o WaveOne® pela Dentsply Maillefer de Ballaigues na Suíça.



Figura 4: VDW.SILVER® Reciproc® (à direita) e VDW.GOLD® Reciproc® (à esquerda)



Figura 5: Limas Reciproc®



Figura 6: Motor WaveOne® da Dentsply®



Figura 7: Limas WaveOne® da Dentsply®

Num estudo conduzido por De-Deus et al em 2014, com o objetivo de comparar o comportamento das limas Reciproc® e WaveOne® de maiores dimensões, concluíram que as do tipo Reciproc® apresentam maior resistência à fadiga do que as do tipo WaveOne® que mostraram-se menos flexíveis do que as Reciproc®.

Hyeon-Cheol et al em 2012, testaram a resistência de torção e fadiga cíclica dos sistemas Reciproc® e WaveOne® comparando-os com ProTaper® e concluíram que:

- As limas Reciproc® demonstraram maior resistência à fadiga cíclica do que as WaveOne®, apesar disso, é importante ressaltar que pelo fato das limas

WaveOne® serem de uso único, tal propriedade não tem impacto significativo na performance desse sistema;

- As limas WaveOne® demonstraram maior resistência à torção do que as Reciproc®;
- Ambos sistemas, Reciproc® e WaveOne® demonstraram ter significativamente maior resistência à torção e à fadiga cíclica comparativamente ao sistema ProTaper®.

Em 2011, Berutti et al, conduziu um estudo para comparar a modificação da curvatura e eixo do canal utilizando as limas WaveOne® em blocos de acrílico de treinamento simulado e constatou que o acesso de trajetória livre é melhor efetuado utilizando esse tipo de limas com movimento recíprocante.

VI. Abordagens Clínicas de Remoção do Instrumentos Fraturados

Apesar de a fratura de um instrumento não causar fracasso do tratamento por si só, a presença de fragmentos no canal radicular poderão impedir a sua apropriada preparação e desinfecção, e poderá acarretar um efeito negativo para o resultado do tratamento (Lin, Rosenberg, Lin, 2005). De fato, a maioria dos pacientes prefere que o fragmento seja removido do dente.

É geralmente aceite que a localização do fragmento em relação à curvatura do canal é o principal fator determinante para a sua remoção, mais do que o tipo de dispositivo escolhido para tal. Quando um fragmento está situado antes da curva, a remoção é quase certa. A hipótese é reduzida se está localizado na curvatura ou além dela (Hulsmann, Schinkel, 1999; Ward, Parashos, Messer, 2003; Shen, Peng, Cheung, 2004;). A remoção é quase impossível quando a fratura ocorre além da curvatura e a extremidade coronal do fragmento não pode ser visualizada através de microscópio cirúrgico (Ward, Parashos, Messer, 2003; Shen, Peng, Cheung, 2004).

Muitos dispositivos especialmente concebidos para isso têm sido propostos, mas apenas alguns deles conseguem resistir ao teste do tempo. É importante ressaltar que a maioria dos autores não se limita a utilizar uma única técnica de remoção, já que cada uma delas parece servir para uma determinada situação.

1. Dispositivo Ultrassônico

Este é provavelmente o método mais utilizado nos dias de hoje. Pontas de trabalho de vários desenhos e dimensões vêm sendo comercializadas por inúmeros fabricantes (Iqbal, 2004).

Rudle preconiza uma técnica que é a preparação de ‘plataforma de estágio’ na qual é criado um acesso em linha reta com uma broca Gates-Glidden modificada ou com um instrumento LightSpeed, seguido do uso de uma ponta ultrassônica para criar um espaço à volta da extremidade coronal do fragmento, antes de removê-lo por agitação ultrassônica ou algum outro meio (como um tubo de extração).

Um outro método de remoção controlada de dentina à volta do instrumento fraturado é o uso de uma lima endodôntica ultrassônica ou “endosónica”, um método proposto há mais de duas décadas atrás (Souyave, Inglis, Alcalay, 1985; Nagai et al., 1986). Uma lima endosónica de calibre 15 ou 20, monitorada sob o microscópio cirúrgico, pode ser usada para criar uma vala em torno da extremidade coronal do fragmento. Uma lima K de pequeno calibre, curvada na ponta, é usada para passar pelo fragmento direcionando-a em direção à face vestibular ou lingual. Uma vez ultrapassado, o fragmento pode ser retirado pela irrigação e agitação com a lima endosónica. Uma agitação de baixa potência deve ser usada inicialmente, mas ela pode ser aumentada, dependendo da resistência do fragmento. O autor sente que este é o método preferido devido à sua versatilidade, grande seleção de limas de diferentes tamanhos, a capacidade

de pré-curvar as pontas das limas a qualquer ângulo, e seu baixo custo. As limas endosónicas são aplicáveis na maioria das situações onde haja fratura de instrumento.

A geração de calor excessivo é uma complicação em potencial quando há o uso de dispositivos ultrassónicos. Foi demonstrado que a aplicação de vibração ultrassónica para a remoção de um pino do canal, sem o uso de um líquido refrigerador, por um longo período de tempo, pode levar ao aumento da temperatura na superfície externa da raiz até um nível biologicamente inaceitável, com possibilidade de efeito desastroso (Gluskin, Ruddle, Zinman, 2005; Walters, Rawal, 2007). As finas pontas endosónicas usadas no canal radicular são invariavelmente operadas a seco, para manter uma clara visibilidade sob o microscópio cirúrgico (Ruddle, 2002; Ruddle, 2004). À respeito da menor dimensão e menor potência (isto é, supostamente menos produção de calor quando comparadas com os tamanhos de pontas ultrassónicas para remoção de pinos), estas pontas endosónicas também podem levar a um aumento excessivo de temperatura na superfície radicular se usada sem cuidado (Hashem, 2007), e portanto, devem ser usadas, inicialmente, com potência reduzida. Além disso, é necessária uma irrigação frequente, não só para prevenir o aumento excessivo de calor, mas também para a desinfecção do sistema de canais radiculares.

2. Tubos de Extração

Este método é mais bem representado pelo kit Masserann (Micro-Mega, Besançon, França) (Figura 8), Endo Extractor (Brasseler, Savannah, GA, USA) (Figura 9), iRS (Instrumental Removal System, Dentsply Endodontics, Tulsa, OK, USA) (Figura 10), e pelo kit Cancellier (SybronEndo, Orange, CA, USA) (Figura 11).

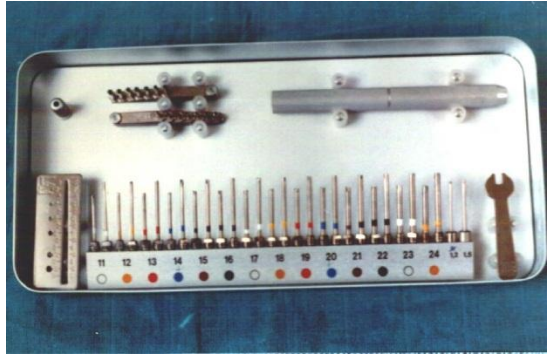


Figura 8: Kit Masserann



Figura 9: Endo Extractor

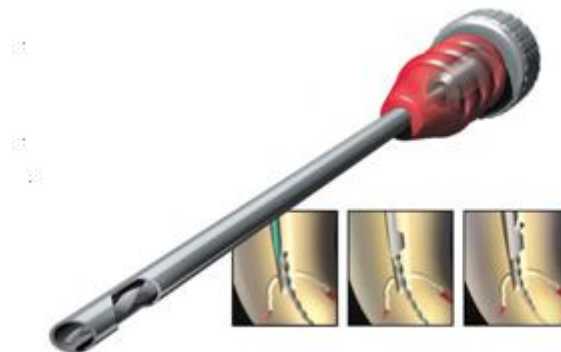


Figura 10: iRS - Instrumental Removal System



Figura 11: Kit Cancellier

Os primeiros dois sistemas fornecem uma broca trefina (vários tamanhos disponíveis) que acomoda o instrumento fraturado no seu centro, enquanto corta circunferencialmente em torno do fragmento. Os dois últimos (iRS e Cancellier) não fornecem trefinas, pois os fabricantes recomendam o uso de uma ponta endosónica. Um tubo de metal especialmente elaborado para este fim é, então, montado na extremidade solta do fragmento e acopla por meio de um estilete central que é aparafusado na posição (Masserann ou iRS) ou pela aplicação de uma cola de cianocrilato (Endo Extrator ou Cancellier). Devido ao alto risco de perfuração, o uso de broca trefina deve ser limitado apenas à parte reta do canal (Hulsmann, 1993); caso contrário, a remoção excessiva de dentina da parede do canal radicular poderá ser uma complicação potencial e real.

Há outros métodos para retirar os fragmentos, usando microtubos. Um deles é o uso de limas Hedstrom com os tubos, onde a lima é introduzida pelo tubo e aparafusada no espaço entre a parte interna do microtubo e o fragmento, até ficar firmemente presa. De seguida, tracionando o tubo e a lima Hedstrom em simultâneo, o instrumento fraturado é também retirado.

O outro método é o microtubo com ponta de laço onde manipula-se um laço com o fio, que irá agarra-se à parte livre do fragmento na porção coronária, esse laço é apertado, utilizando uma pinça hemostática e uma vez apertado, o conjunto é removido do interior do canal por tração (Ruddle, 2004). Foram reportadas remoções bem sucedidas de instrumentos fraturados usando este método de fio e laço, porém este método não parece ter ganho muita popularidade.

3. Outros Métodos de Remoção de Fragmentos

i . Canal Finder

Este produto da S.E.T. (Olching, Alemanha) foi inicialmente comercializado para o preparo do canal radicular. É conectado ao motor de ar comprimido e fornece simultaneamente movimentos de rebobinamento e alternativos (para cima e para baixo com amplitude máxima de 1 mm). O sistema tem sido usado para remover fragmentos do canal com vários níveis de sucesso (Hulsmann, 1990); preconiza-se que o fragmento seja ultrapassado com uma lima K manual, de pequeno calibre, antes do seu uso. Este sistema foi substituído pelo sistema Canal Leader (S.E.T.) e não há relatos de aplicação deste novo sistema para a remoção de instrumentos fraturados, provavelmente devido à esmagadora popularidade dos métodos descritos anteriormente.

ii. Métodos Químicos

Envolvem ácidos, como ácido clorídrico ou ácido sulfúrico, com o objetivo de corroer o objeto metálico localizado no interior do canal. Porém, segundo Ward, 2003 e Parashos, Messer, 2006, como os instrumentos são resistentes à corrosão, os métodos químicos tornaram-se falíveis e pouco recomendáveis.

4. Bypass de Instrumentos Fraturados no Interior Radicular.

Quando a remoção de um instrumento fraturado não pode ser alcançada, contornar o instrumento fraturado, ou seja fazer um bypass, poderá permitir uma desinfecção, modelagem e uma obturação de todo o comprimento útil do canal, mesmo quando a fratura do instrumento está localizada nos terços médios e apicais dos canais curvos.

Caso não se consiga a remoção do fragmento, a manobra bypass, que consiste em contornar, ultrapassar o fragmento, é recomendada.

É um procedimento tecnicamente desafiador, pois depende unicamente da sensibilidade táctil e pura perseverança do endodontista, pois geralmente são usadas limas manuais de aço inoxidável, que poderão aumentar o índice de perfurações e transportar o canal caso não haja cuidado.

A presença de um instrumento fraturado dentro do canal radicular não é suficiente para determinar o resultado do tratamento, mas a infecção do canal associado a um instrumento retido poderá levar a um mau prognóstico. Sendo assim a capacidade de desinfecção de todo o comprimento do canal radicular, permitido pelo procedimento bypass, pode ajudar a garantir um melhor prognóstico.

5. Obturação do canal radicular com instrumentos fraturados.

A obturação do canal radicular consiste no preenchimento tridimensional deste, com materiais inertes ou biocompatíveis que estimulem, ou pelo menos, não interfiram na reparação dos tecidos periapicais.

Quando a recuperação do fragmento é impossível, ou quando não conseguimos o bypass, alguns autores recomendam que o fragmento deve ser totalmente ignorado, realizando uma limpeza mais completa do canal e em seguida obturar, e selar o canal até ao instrumento fraturado.

A retenção deste fragmento no local (*in situ*), incorporando-o ao material obturador, pode ser a melhor opção para evitar o risco de perfuração da raiz e de ter uma quantidade excessiva de estrutura dentária retirada durante o procedimento (Ward, Parashos, Messer, 2003). A desinfecção adequada do espaço do canal radicular, no entanto, é essencial antes que se adote esta abordagem. Isto pode ser feito através do preenchimento do canal com gel de clorhexidina 2% (Krithikadatta, Indira, Dorothykalyani, 2007) ou com uma mistura de gel com hidróxido de cálcio por uma ou duas semanas (Gomes et al., 2002; Siren et al., 2004; de Rossi et al., 2005). Realizado da forma correta, a retenção de um fragmento fraturado no canal radicular, não irá comprometer o resultado do tratamento endodôntico (Spili, Parashos, Messer, 2005; Lin, Rosenberg, Lin, 2005).

Os casos nos quais forem necessários a obturação mantendo-se o fragmento, deverão ser observados regularmente. Se os sintomas e/ou sinais persistirem, deverá ser considerada a realização da cirurgia apical (Cohen, Hargreaves, 2011).

6. Cirurgia apical

Mesmo com o aumento do índice de sucesso da terapia endodôntica ao longo dos anos, o fracasso ainda persiste. Contudo, após uma adequada abordagem conservadora, certas condições extremas requerem a intervenção cirúrgica apical como última tentativa de manutenção do dente. Sendo assim, a cirurgia apical, na maioria dos casos, apenas é preconizada após esgotadas as tentativas de remoção do fragmento, quando o bypass e também a obturação do canal radicular mantendo o instrumento fraturado no dente, não forem possíveis.

Alguns autores porém, aconselham que a abordagem cirúrgica poderá ser a primeira escolha para o tratamento de dentes com pinos longos ou fragmentos de instrumentos fraturados não removíveis, degraus intransponíveis, bloqueios e desvio de canal. (Beer, 2006)

As modalidades cirúrgicas mais usadas são a curetagem periapical, a apicectomia, a apicectomia com obturação retrógrada e a apicectomia com instrumentação e obturação do canal radicular via retrógrada.

A cirurgia apical é um procedimento no qual o especialista tem que ter enorme atenção e conhecimento, pois diversos detalhes operatórios como tipo de broca, velocidade do motor (alta ou baixa potência), potência ultrassônica, tipo de ponta ultrassônica, ângulo de corte, profundidade da retrocavidade e tempo de uso do ultrassom, entre outros, são fatores relevantes para o sucesso da cirurgia apical. Todos podem influenciar diretamente na microinfiltração retrógrada devido à formação de cracks, abertura ou exposição de túbulos dentinários na superfície apical ressectada, espessura dentinária das paredes da retrocavidade e regularidade do preparo e da superfície apical ressectada (Tobón-Arroyave et al., 2007).

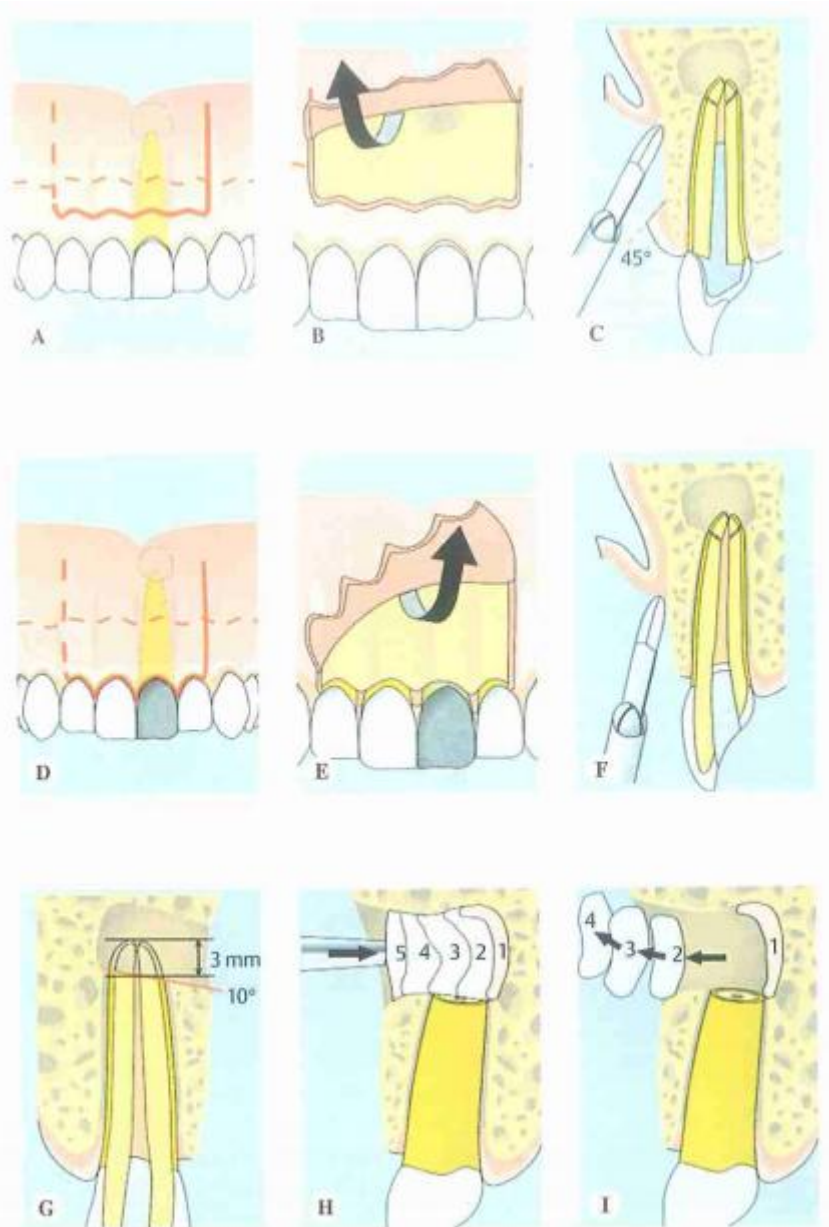


Figura 12: Exemplo de Apicectomia

Na apicectomia, primeiramente faz-se o retalho mucoperiosteal que pode ser submarginal retangular ou retalho de Oschsenbein-Luebke (Figura 7 – A, B e C), ou um retalho triangular (Figura 7 – D, E e F).

Depois com a ressecção de 3mm do apice radicular, remove-se 90% das ramificações apicais e dos canais laterais. (Figura 7 – G)

Após esse procedimento a cavidade óssea é tamponada com algodão, sendo a primeira bolinha de algodão inserida, embebida em substância hemostática. (Figura 7 – H).

Após 3 minutos o algodão é removido, porém a porção mais profunda é deixada. Seguem-se a preparação e a obturação retrógrada do canal e, só então, o algodão é completamente removido. (Figura 7 – I).

A escolha do material utilizado na retrobturação é um fator determinante do sucesso na cirurgia apical. Devido a isso, muitos materiais têm sido propostos e utilizados, com o objetivo de encontrar um material ideal para ser utilizado em substituição ao amálgama.

O MTA por ter as seguintes características: ótima biocompatibilidade, capacidade de presa na presença de humidade, selamento superior na presença de humidade ou sangue, boa adaptação marginal, radiopacidade, não corrosivo, não reabsorvível, antifúngico e indutor de neoformação tecidual periodontal, é o mais recomendado por uma série de estudos.



Figura 13: Três raízes preenchidas com MTA cinzento

7. Abordagem na remoção de instrumentos

A remoção de instrumentos fraturados de um canal radicular é uma tarefa exigente que requer, não só habilidade manual, mas também equipamentos e instrumentos específicos. A necessidade de ampliação e bom conhecimento sobre a anatomia do canal não pode ser subestimada. Algumas recomendações são dadas abaixo para facilitar essa tentativa:

Obter uma visão da extremidade coronal do fragmento. É importante verificar a localização do instrumento fraturado para uma remoção segura da dentina em volta do mesmo, a fim de evitar perfuração, ou criar um *zip*, ou transporte do canal. Isto é feito pela obtenção de um acesso em linha reta de forma a que a extremidade coronal do fragmento fique visível através do microscópio cirúrgico. Muitas vezes é necessário que haja alargamento do canal para assegurar a acessibilidade ao fragmento. Não se deve alargar exageradamente para não comprometer a integridade da raiz. Ou uma lima endossónica ou uma ponta especializada podem, então, ser aplicadas com precisão.

Estudar a anatomia do canal. Levar em consideração a anatomia do dente que está a ser tratado. Por exemplo, no caso da raiz mesial de um molar inferior, uma raiz onde há fratura de instrumentos com frequência, existe quase sempre um istmo conectando o canal méso-vestibular ao méso-lingual. Na procura de um fragmento que tenha fraturado aí, será mais fácil e seguro remover a dentina no istmo entre esses canais mesiais para libertar o fragmento. Evite atingir a furca da raiz, para evitar a sua perfuração. O mesmo princípio deve ser aplicado para a raiz méso-vestibular de um molar superior, onde a presença de um segundo canal (canal palatal da raiz méso-vestibular) é bastante comum.

Tentar primeiro ultrapassar o fragmento. Como a maioria dos lumens dos canais é elíptica em corte transversal, ultrapassar o fragmento é uma tarefa possível, especialmente quando o mesmo estiver localizado no meio do canal ou em sua parte coronal (Nagai et al., 1986; Al-Fouzan, 2003; Shen, Peng, Cheung, 2004). Inicialmente, tentativas devem ser feitas com uma lima K de pequeno calibre, na parede vestibular e/ou lingual. Uma vez ultrapassado, o fragmento pode ser retirado com o uso de uma lima endossónica. Mesmo que a remoção não seja bem sucedida, o canal pode ainda ser desbridado e desinfetado em toda sua extensão, e portanto, o prognóstico do tratamento deverá ser favorável (Parashos, Messer, 2003).

Escolha o material correto. Um importante objetivo do tratamento endodôntico é o de manter a função do dente tratado em estado saudável na arcada dentária (Friedman, Mor, 2004). Com uma condução correta, que compreende a desinfecção e a obturação do sistema de canais radiculares, e a execução de um bom selamento coronário, o prognóstico não é afetado significativamente pela presença de um instrumento fraturado no dente (Crump, Atkin, 1970; Spili, Parashos, Messer, 2005). Sendo assim, quando houver um risco de danificar excessivamente a estrutura remanescente da raiz, a remoção do fragmento não deverá ser tentada. O uso de brocas trefina deve ser empreendido com extrema precaução; geralmente é preferível o uso de uma ponta ultrassónica fina ou de uma lima endossónica.

A remoção de um instrumento fraturado poderá ser bem conseguida utilizando ao mesmo tempo, várias das técnicas e instrumentos abordados anteriormente. Kahler, 2011 num estudo de caso clínico reporta a cura de um paciente de 62 anos que apresentou periodondite apical de um molar maxilar. Esse sucesso foi conseguido através da utilização combinada de técnicas de microcirurgia com o auxílio de microscópio, uso de ultrassom, micro-instrumentação e preenchimento do canal com MTA. De realçar que o paciente manteve durante 15 anos um instrumento fraturado nesse molar, sem que houvesse qualquer problema relatado por ele durante esse tempo, fato este que corrobora que o instrumento fraturado nem sempre deve ser removido e somente deverá ser removido quando o mesmo apresentar algum tipo de ameaça para a saúde do dente.



Figura 14: Radiografia periapical do paciente estudado por Kahler 2011



Figura 15: Radiografia periapical tirada logo após a obturação com MTA do dente retratado do paciente estudado por Kahler 2011

8. Técnicas Futuras

i . Remoção por Laser

Madarati et al, 2013 sugere que a técnica de remoção por laser do tipo neodímio YAG possa ser aplicada no futuro com sucesso, após maiores estudos sobre a mesma. Esta técnica que já foi testada em laboratório, apresenta a vantagem de remover apenas uma pequena quantidade de dentina, reduzindo o risco de fratura da raiz e a remoção do instrumento fraturado ocorre num curto espaço de tempo, em menos de 5 minutos. Esta técnica pode ser utilizada de duas formas:

- O laser derrete a dentina à volta do fragmento e com uma lima Hedstrom faz-se um bypass para removê-lo, ou;
- O fragmento é derretido pelo laser.

Porém, há algumas preocupações envolvendo este conceito, como a probabilidade de perfuração da raiz em canais curvos e o aumento de temperatura na parte exterior da raiz, em torno de 27° C e potencial dano ao tecido periodontal.

ii . Dissolução do fragmento através de processo Eletroquímico

Ormiga et al, 2010, testaram um novo conceito baseado na dissolução eletroquímica do metal. Dois eletródodos imersos num eletrólito, um a agir como cátodo e outro a agir como ânodo. O eletrólito tem composição variável de acordo com o metal a ser dissolvido. Neste teste, pontas de limas K3 de tamanho 20, foram imersas em soluções de fluoreto de sódio e cloreto de sódio por 8, 17 e 25 minutos até que a porção imersa de 6 mm fosse totalmente dissolvida.

Os resultados desse experimento foram animadores e acredita-se que esta técnica será passível de ser adotada em ambiente clínico, após maiores estudos e experimentos, apesar de todas as limitações que apresenta, como por exemplo, o longo tempo para a total dissolução do metal e o espaço limitado na raiz, para a acomodação do cátodo e do anodo.

Conclusão

Através desta revisão da literatura pode concluir-se que, apesar dos avanços tecnológicos, a fratura de instrumentos durante a prática endodôntica é algo que ocorre usualmente. Um instrumento irá fraturar nos casos em que houver aplicação de força superior à sua resistência, ou se houver uma trinca no mesmo que se propague de tal forma que a secção transversal remanescente intacta seja incapaz de suportar a carga de trabalho usual. Uma lima pode fraturar, por torção, fadiga, ou por defeito de fabrico e é influenciada por inúmeros fatores como por exemplo a anatomia do canal, técnicas de instrumentação, velocidade de rotação e também pela habilidade do operador.

Os avanços tecnológicos têm permitido que os fabricantes de instrumentos endodônticos introduzam inovações na manufatura desses instrumentos e novas técnicas que visam minimizar a fratura dos instrumentos. Instrumentos como o Reciproc® e o WaveOne® são exemplos de melhoria e que com a introdução do movimento recíprocante introduziram uma técnica que diminui a quebra dos instrumentos endodônticos.

Obter um acesso em linha reta, diminuir a velocidade de rotação da lima, para adiar o aparecimento de fadiga, usar instrumentação manual antes de usar o instrumento rotatório, correta irrigação e lubrificação e não usar uma lima mais de 5 vezes, são só alguns dos conselhos encontrados na literatura para diminuir a ocorrência de fraturas de instrumentos.

Mesmo com toda a evolução tecnológica e recomendações que visam a diminuição da fratura dos instrumentos endodônticos, ainda assim, a fratura de instrumentos poderá ocorrer e mesmo que a ocorrência de uma fratura possa não significar o fracasso do tratamento, a maioria dos pacientes prefere que o fragmento seja removido do dente.

Para a remoção do instrumento existem inúmeros procedimentos. O instrumento poderá ser retirado com o auxílio de dispositivos como ultrassom, tubos de extração ou sistema canal finder; através de cirurgia apical, que consiste na remoção do instrumento fraturado através da porção apical do dente, sendo as principais técnicas a curetagem periapical, a apicectomia, a apicectomia com obturação retrógrada e a apicectomia com instrumentação e obturação do canal radicular via retrógrada. Preconiza-se o uso do MTA para efetuar a retrobturação.

A remoção de instrumentos fraturados continua a ser alvo de estudos por parte do meio acadêmico e científico e novas técnicas estão a ser estudadas para serem utilizadas clinicamente. Remoção por eletrólise e com o uso do laser são exemplos de técnicas de remoção que deverão ser introduzidas no futuro, por terem apresentado resultados animadores em estudos e ensaios laboratoriais.

Aconselha-se que antes de escolher a técnica de remoção do instrumento, o profissional deva estudar a anatomia do canal, obter uma visão da extremidade coronal do fragmento e escolher o material correto entre o vasto leque de opções que existem no mercado.

Em muitos casos, o profissional poderá optar pelo uso combinado de técnicas, onde mais do que uma poderá ser utilizada em simultâneo.

Porém, nem sempre será possível ou necessário que se faça a remoção do instrumento e para esses casos, recomenda-se o procedimento de *bypass* ou mesmo a obturação do dente mantendo o fragmento no seu interior.

O *bypass* consiste em contornar o instrumento fraturado e permite uma desinfecção, modelagem e obturação de todo o comprimento útil do canal. Se a opção for obturar e

manter o fragmento no dente, o fragmento deverá ser totalmente ignorado, recomenda-se fazer uma limpeza mais completa do canal e em seguida obturar e selar o canal até ao instrumento fraturado.

Atualmente existe uma série de opções que permitem um ótimo prognóstico do dente nos casos que haja fratura de instrumentos.

Referências Bibliográficas

Alapati, S., *et al.* (2005) SEM Observations of Nickel-Titanium Rotary Endodontic Instruments that Fractured During Clinical Use. *J Endod*, 31, pp. 40-3

Al-Fouzan K. (2003) Incidence of rotary ProFile instrument fracture and the potential for bypassing in vivo. *Int Endod J*, 36, pp. 864-7.

Anderson, M. Price, J. Parashos, P. Fracture resistance of electropolished rotary nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod*, 33, pp. 1212-6.

Ankrum M., Hartwell G., Truitt J. (2004) K3 Endo, ProTaper, and ProFile systems: breakage and distortion in severely curved roots of molars. *J Endod*, 30, pp. 234-7.

Arens F., *et al.* (2003) Evaluation of single-use rotary nickel-titanium instruments. *J Endod*, 29, pp. 664-6.

ASM International. (1996) *ASM Handbook, vol. 19: Fatigue and Fracture*. ASM International.

Bahia M., Melo M., Buono V. (2006) Influence of simulated clinical use on the torsional behavior of nickel-titanium rotary endodontic instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 101, pp. 675-80.

Barbosa F., Ponciano Gomes J., Pimenta de Araujo M.. (2007) Influence of previous angular deformation on flexural fatigue resistance of K3 nickel-titanium rotary instruments. *J Endod*, 33, pp. 1477-80.

Berutti E., *et al.* (2003) Comparative analysis of torsional and bending stresses in two mathematical models of nickel titanium rotary instruments: ProTaper versus ProFile. *J Endod*, 29, pp. 15-9.

Berutti E., *et al.* (2004) Influence of manual preflaring and torque on the Instrument fracture 23 failure rate of ProTaper rotary instruments. *J Endod*, 30, pp. 228-30.

Berutti E., *et al.* (2011) Effect of Canal Length and Curvature on Working Length Alteration with WaveOne Reciprocating Files. *J Endod*, 37, pp. 1687-90.

Best S., *et al.* (2004) Torsional fatigue and endurance limit of a size 30.06 ProFile rotary instrument. *Int Endod J*, 37, pp. 370-3.

Bortnick K., Steiman H., Ruskin A. (2001) Comparison of nickel-titanium file distortion using electric and airdriven handpieces. *J Endod*, 27, pp. 57-9.

Blum J., *et al.* (2003) Analysis of mechanical preparations in extracted teeth using ProTaper rotary instruments: value of the safety quotient. *J Endod*, 29, pp. 567-75.

Buehler W.; Cross, W., (1969), 55-Nitinol unique wire alloy with a memory. *Wire Journal*, v. 2, pp. 41-9.

Cheung G., *et al.* (2005) Defects in ProTaper S1 instruments after clinical use: fractographic examination. *Int Endod J*, 38, pp. 802-8.

Cheung, G. (2007) *et al.* Comparison of defects in ProTaper hand-operated and engine-driven instruments after clinical use. *Int Endod J*, 40, pp. 169-78.

Cheung, G., Darvell, B. (2008) Low-cycle fatigue of rotary NiTi endodontic instruments in hypochlorite solution. *Dent Mater*, 24, pp. 753-9.

Cheung, G. (2009) Instrument fracture: mechanisms, removal of fragments, and clinical outcomes. *Endodontic Topics*, 16, pp. 1-26.

Cheung G., Zhang E., Zheng Y. (2011) A numerical method for predicting the bending fatigue life of NiTi and stainless steel root canal instruments. *Int Endod J*, 44, pp. 357-61

Cohen, S., Hargreaves, K. (2011) *Cohen Caminhos da Polpa*. Rio de Janeiro. Elsevier

Collins, J. (1993) *Failure of Materials in Mechanical Design: Analysis, Prediction, Prevention*. New York, NY: John, Wiley & Sons.

Crump, M., Natkin, E. (1970) Relationship of broken root canal instruments to endodontic case prognosis: a clinical investigation. *JAmDent Assoc*, 80, pp. 1341-7.

Da Silva F., Kobayashi C., Suda H. (2005) Analysis of forces developed during mechanical preparation of extracted teeth using RaCe rotary instruments and ProFiles. *Int Endod J*, 38, pp. 17-21.

Daugherty D., Gound T., Comer T. (2001) Comparison of fracture rate, deformation rate, and efficiency between rotary endodontic instruments driven at 150 rpm and 350 rpm. *J Endod*, 27, pp. 93-95.

De Rossi A., *et al.* (2005) Effect of rotary or manual instrumentation, with or without a calcium hydroxide/1% chlorhexidine intracanal dressing, on the healing of experimentally induced chronic periapical lesions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 99, pp. 628-36.

De-Deus, G., *et al.* (2014) Bending Resistance and Dynamic and Static Cyclic Fatigue Life of Reciproc and WaveOne Large Instruments. *J Endod*, 40, pp. 575-9.

De Melo M., Guiomar de Azevedo Bahia M., Lopes Bueno V. (2002) Fatigue resistance of engine-driven rotary nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod*, 28, pp. 765-9.

Di Fiore P., *et al.* (2006) Nickel-titanium rotary instrument fracture: a clinical practice assessment. *Int Endod J*, 39, pp. 700-8.

Di Fiore, P. (2007) A dozen ways to prevent nickel-titanium rotary instrument fracture. *J Am Dent Assoc.*, 138, pp. 196–201

Friedman, S., Mor, C. (2004) The success of endodontic therapy- healing and functionality. *J Calif Dent Assoc*, 32, pp. 493-503.

Gambarini G. (2000) Rationale for the use of low-torque endodontic motors in root canal instrumentation. *Endod Dent Traumatol*, 16, pp. 95-100.

Gluskin A., Ruddle C., Zinman E. (2005) Thermal injury through intraradicular heat transfer using ultrasonic devices: precautions and practical preventive strategies. *J Am Dent Assoc*, 136, pp. 1286-93.

Gomes BP, *et al.* (2003) Effectiveness of 2% chlorhexidine gel and calcium hydroxide against *Enterococcus faecalis* in bovine root dentine *in vitro*. *Int Endod J*, 36, pp. 267-75.

Grossman, LI. (1968) Fate of endodontically treated teeth with fractured root canal instruments. *J Br Endod Soc*, 2, pp. 35-7.

Gulabivala K., Stock C. (2004) Root canal system preparation. *In: Stock C., Gulabivala K., Walker R. Endodontics*. 3rd Edition. Edinburgh, Mosby, pp. 135-72

Gutmann G., Dumsha T., Lovdahl P. (2006) *Problem Solving in Endodontics*. 4th Edition. Singapore, Elsevier.

Hashem, A. (2007) Ultrasonic vibration: temperature rise on external root surface during broken instrument removal. *J Endod*, 33, pp. 1070-3.

Herold, K., Johnson, B., Wenckus, C., (2007) A scanning electron microscopy evaluation of microfractures, deformation and separation in EndoSequence and Profile nickel-titanium rotary files using an extracted molar tooth model. *J Endod*, 33, pp. 712-4.

Hulsmann, M.(1990) Removal of silver cones and fractured instruments using the Canal Finder System. *J Endod*, 16, pp. 596-600.

Hulsmann, M. (1993) Methods for removing metal obstructions from the root canal. *Endod Dent Traumatol*, 9, pp. 223-37.

Hulsmann, M., Schinkel, I. (1999) Influence of several factors on the success or failure of removal of fractured instruments from the root canal. *Endod Dent Traumatol*, 15, pp. 252-8.

Hyeon-Cheol, K, *et al.* (2012) Cyclic Fatigue and Torsional Resistance of Two New Nickel-Titanium Instruments Used in Reciprocation Motion: Reciproc Versus WaveOne. *J Endod*, 38, pp. 541-4

Iqbal M. (2004) Nonsurgical ultrasonic endodontic instruments. *Dent Clin North Am*, 48, pp. 19-34.

Iqbal M., Kohli M., Kim J. (2006) A retrospective clinical study of incidence of root canal instrument separation in an endodontics graduate program: a PennEndo database study. *J Endod*, 32, pp. 1048-52.

Kahler, B. (2011) Endodontic retreatment of maxillary incisors previously treated with a conventional apexification protocol: a case report. *Aust Endod J*, 37, pp. 31-5.

Kim H., *et al.* (2008) Comparison of forces generated during root canal shaping and residual stresses of three nickel-titanium rotary files by using a three dimensional finite-element analysis. *J Endod*, 34, pp. 743-7.

Krithikadatta J., Indira R., Dorothykalyani A. (2007) Disinfection of dentinal tubules with 2% chlorhexidine, 2% metronidazole, bioactive glass when compared with calcium hydroxide as intracanal medicaments. *J Endod*, 33, pp. 1473-6.

Kuhn G., Jordan L. (2002) Fatigue and mechanical properties of nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod*, 28, pp. 716-20.

Li U., *et al.* (2002) Cyclic fatigue of endodontic nickel titanium rotary instruments: static and dynamic tests. *J Endod*, 28, pp. 448-51.

Lin, L., Rosenberg, P., Lin, J. (2005) Do procedural errors cause endodontic treatment failure? *J Am Dent Assoc*, 136, pp. 187-93.

Liu Y. (1999) Mechanical stabilisation of martensite due to cold deformation. *Mater Sci Eng A Struct Mater*, A273-275, pp. 668-72.

Lopes H., Siqueira, J. (2004), *Endodontia - Biologia e Técnica*, 2 ed. Rio de Janeiro, Editora Medsi – Editora Guanabara Koogan.

Lussi A., *et al.* (1995) A new noninstrumental technique for cleaning and filling root canals. *Int Endod J*, 28, pp. 1-6.

Lussi A, *et al.* (1999) Comparison of two devices for root canal cleansing by the noninstrumentation technology. *J Endod*, 25, pp. 9-13.

Lussi A, *et al.* (2002) In vivo performance of the new non-instrumentation technology (NIT) for root canal obturation. *Int Endod J*, 35, pp. 352-8

Ma, H., Wang, Q., Wang, L. (2010) Fracture of ProTaper rotary instrument with analysis on influential factors. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue*, 19, pp. 349-53.

Madarati, A. *et al.* (2013) Management of intracanal separated instruments. *J Endod*, 39, pp. 569-81.

Martín B, *et al.* (2003) Factors influencing the fracture of nickel-titanium rotary instruments. *Int Endod J*, 36, pp. 262-6.

Miao W, *et al.* (2002) Effect of surface preparation on mechanical properties of a NiTi alloy. In: eds. Chu YY and Zhao LC, *SMST-SMM 2001: Shape Memory Materials and its Applications*. Materials Science Forum, Vol. 394-395. Zurich, Switzerland: Trans Tech Publications, pp. 173-176.

Nagai O, *et al.* (1986) Ultrasonic removal of broken instruments in root canals. *Int Endod J*, 19, pp. 298-304.

Ormiga, F., Gomes, J., Araújo, M. (2010) Dissolution of Nickel-Titanium Endodontic Files via an Electrochemical Process: A New Concept for Future Retrieval of Fractured Files in Root Canals. *J Endod*, 36, pp. 717-20

Ounsi HF, *et al.* (2007) Effect of clinical use on the cyclic fatigue resistance of ProTaper nickel-titanium rotary instruments. *J endod*, 33, pp. 737-41.

Patiño PV, *et al.* (2005) The influence of a manual glide path on the separation rate of NiTi rotary instruments. *J Endod*, 31, pp. 114-6.

Parashos P., Gordon I., Messer H. (2004) Factors influencing defects of rotary nickel-titanium endodontic instruments after clinical use. *J Endod*, 30, pp. 722-5.

Park SY, *et al.* (2010) Dynamic torsional resistance of nickel-titanium rotary instruments. *J Endod*, 36, pp. 1200–4

Peng B, *et al.* (2005) Defects in ProTaper S1 instruments after clinical use: longitudinal examination. *Int Endod J* 2005, 38, pp. 550-7.

Peters O., *et al.* 2003) ProTaper rotary root canal preparation: assessment of torque and force in relation to canal anatomy. *Int Endod J*, 36, pp. 93-9.

Plotino G, *et al.* (2006) A comparison of cyclic fatigue between used and new Mtwo Ni-Ti rotary instruments. *Int Endod J*, 39, pp. 716-23.

Plotino G, *et al.* (2007) Influence of a brushing working motion on the fatigue life of NiTi rotary instruments. *Int Endod J*, 40, pp. 45-51.

Pruett J, Clement D, Carnes Jr. D. (1997) Cyclic fatigue testing of nickel titanium endodontic instruments. *J Endod*, 23, pp. 77-85.

Ring M. (1995) *Dentistry – an illustrated history*. New York. Harry Abrams, Inc, Publishers.

Roland, D. *et al.* (2002) The effect of preflaring on the rates of separation of 0.04 taper nickel titanium rotary instruments. *J Endod*, 28, pp. 543-5.

Ruddle, C. (2002) Broken Instrument Removal : The Endodontic Challenge. *Dentistry Today*. [Em linha]. Disponível em <<http://www.dentistrytoday.com/endodontics/997>> [Consultado em 21/01/2014]

Ruddle, C. (2004) Nonsurgical retreatment: post & broken instrument removal. *J Endod*, [Em linha]. Disponível em <http://www.endoforum.ru/doc/PostsBrknInstrmts_Dec2004.pdf>. [Consultado em 21/01/2014].

Sattapan B, *et al.* (2000) Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *J Endod*, 26, pp. 161-5.

Sattapan B, Palamara J, Messer H. (2000) Torque during canal instrumentation using rotary nickel-titanium files. *J Endod*, 26, pp. 156-60.

Schafer, E. (2002) Effect of physical vapor deposition on cutting efficiency of nickel-titanium files. *J Endod*, 28, pp. 800-2.

Schafer, E. (2002) Effect of sterilization on the cutting efficiency of PVD coated nickel-titanium endodontic instruments. *Int Endod J*, 35, pp. 867-72.

Schijve J. (2001) *Fatigue of Structures and Materials*. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic.

Schrader C., Peters, O. (2005) Analysis of torque and force with differently tapered rotary endodontic instruments in vitro. *J Endod*, 31, pp. 120-3.

Seltzer, S., *et al.* (1967) Endodontic failures Fan analysis based on clinical, roentgenographic, and histologic findings. I and II. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 23, 500-30.

Serene T, Adams J, Saxena A. (1995). *Nickel-titanium Instruments. Applications in Endodontics*. St. Louis, Ishiyaku EuroAmerica.

Sjogren, U, *et al.* (1990) Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod*, 16, 498-504.

Souyave, L., Inglis, A., Alcalay, M. (1985) Removal of fractured endodontic instruments using ultrasonics. *Br Dent J*, 159, pp. 251-253.

Souza, R. (1983) Análise crítica do papel da obturação do tratamento endodôntico. *Revista da Associação Paulista de Cirurgiões Dentistas*, v. 37, n.1, pp. 61-7.

Spangberg, L. (2000), Instrumentos, Materiais e Aparelhos. *In: Cohen, S., Burns, R. Caminhos da Polpa*. 7 ed., capítulo 14, Rio de Janeiro, Guanabara Koogan.

Spili, P., Parashos, P., Messer, H. (2005) The Impact of Instrument Fracture on Outcome of Endodontic Treatment. *J Endod*, 31, pp. 845-50

Strindberg, L. (1956) The dependence of the results of pulp therapy on certain factors. An analytic study based on radiographic and clinical follow-up examinations. *Acta Odontol Scand*, 14 (Suppl 21), pp. 1-175.

Suresh, S. (1998) *Fatigue of Materials*, 2nd Edn. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Tripi, T., Bonaccorso, A., Condorelli, G. (2003) Fabrication of hard coatings on NiTi instruments. *J Endod*: 29, pp. 132-4.

Ullman, C., Peters, O. (2005) Effect of Cyclic Fatigue on Static Fracture Loads in ProTaper Nickel-Titanium Rotary Instruments. *J Endod*, 31, pp.183-6

Walia, H., *et al.* (1998) An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod*, 14, pp. 346-51.

Walters, J., Rawal, S. (2007) Severe periodontal damage by an ultrasonic endodontic device: a case report. *Dent Traumatol*, 23: 123-7.

Ward, J. (2003) The Use Of An Ultrasonic Technique To Remove A Fractured Rotary Nickel-Titanium Instrument From The Apical Third Of A Curved Root Canal. *Aust Endod J*, 29, pp. 25-30

Ward, J., Parashos, P., Messer, H. (2003) Evaluation of an ultrasonic technique to remove fractured rotary nickel- titanium endodontic instruments from root canals: clinical cases. *J Endod*, 29, pp. 764-7.

Wolcott, S., *et al.* (2006) Separation incidence of ProTaper rotary instruments: a large cohort clinical evaluation. *J Endod*, 32, pp. 1139-41.

Yared, G., *et al.* (2001) Failure of ProFile instruments used with high and low torque motors. *Int Endod J*, 34, pp. 471-5.

Yared, G. *et al.* (2002) Influence of rotational speed, torque and operator proficiency on failure of Greater Taper files. *Int Endod J*, 35, pp. 7-12.

Yared, G., Kulkarni, G. (2002) Failure of ProFile Ni-Ti instruments used by an inexperienced operator under access limitations. *Int Endod J*, 35, pp. 536-41.

Yared, G., Kulkarni, G., Ghossayn, F. (2003) An in vitro study of the torsional properties of new and used K3 instruments. *Int Endod J*, 36, pp. 764-9.

Yared, G. (2008) Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J*, 41, pp. 339-44.