

근관치료 기구의 기계 형태적 특성과 이에 따른 임상적 영향 고찰

김현철*

부산대학교 치의학전문대학원 치과보존학교실

ABSTRACT

Mechanical and geometric features of endodontic instruments and its clinical effect

Hyeon-Cheol Kim*

Department of Conservative Dentistry, Pusan National University School of Dentistry, Yangsan, Korea

Introduction: The aim of this paper is to discuss the mechanical and geometric features of Nickel-titanium (NiTi) rotary files and its clinical effects. NiTi rotary files have been introduced to the markets with their own geometries and claims that they have better ability for the root canal shaping than their competitors. The contents of this paper include the (possible) interrelationship between the geometries of NiTi file (eg. tip, taper, helical angle, etc) and clinical performance of the files as follows:

- Fracture modes of NiTi rotary files
- Non-cutting guiding tip and glide path
- Taper and clinical effects
- Cross-sectional area and clinical effects
- Heat treatments and surface characteristics
- Screw-in effect and preservation of root dentin integrity
- Designs for reducing screw-in effect

Conclusions: Based on the reviewed contents, clinicians may have an advice to use various brands of NiTi rotary instruments regarding their advantages which would fit for clinical situation. [J Kor Acad Cons Dent 2011;36(1):1-11.]

Key words: Cross-section; Fracture; Geometry; Heat treatment; Mechanical response; NiTi rotary file

-Received 3 January 2011; revised 10 January 2011; accepted 10 January 2011-

서 론

근관치료의 목적은 근관 내 감염원의 제거 및 성형을 통해 근관충전이 용이한 형태를 만드는 것이며, 궁극적으로는 생물학적 기계적 목적을 달성하여 치근단 병변을 예방하는 것이다.¹⁻³ 근관치료의 가장 주된 과정 중의 하나인 근관성형의 기계적 목적을 달성하기 위해서 다양한 기구를 사용하고

있다. 전통적으로 가장 널리 사용되어 온 스테인리스스틸 (SS) 파일은 현재에도 가장 기본적인 기구로 사용되고 있다. SS 파일의 효율적인 사용을 위해서 다양한 조작 방법이 제안되었는데, 대표적인 것으로 filing, reaming, turn and pull, watch winding, watch wind and pull, 및 balanced force technique 등이 있다.^{3,4} 그러나 이렇게 다양한 방법들을 사용한다 하더라도 SS 파일을 이용한 근관

*Correspondence to Hyeon-Cheol Kim, DDS, MS, PhD.

Associate Professor, Department of Conservative Dentistry, Pusan National University School of Dentistry, 3-3 Beomeo-ri, Mulgeum, Yangsan, Korea 626-810

TEL, +82-55-360-5222; FAX, +82-55-360-5214; E-mail, golddent@pusan.ac.kr

성형의 결과는 항상 양호한 결과만을 만들지는 않는다. SS의 물리적 성질(높은 탄성 계수와 강성)때문에 해부학적으로 복잡한 형태의 근관을 고르게 성형하지 못하고, 특히 만곡 근관의 경우에는 성형이 한쪽 방향으로 치우치는 결과를 초래하기도 한다. 그 결과 ledge, transportation, 혹은 zip, 심지어 천공(perforation)이 유발되기도 한다.⁵⁻⁸

이러한 SS 기구의 단점을 극복하기 위해 니켈티타늄(NiTi) 합금(Ni-55% : Ti-45%)으로 만든 전동 파일이 개발되었다.⁹ SS가 높은 강성과 탄성 계수를 가진 것과는 달리 NiTi 파일은 합금의 초탄성 특성에 의해 만곡 근관에서도 연속 회전이 가능하게 되었고, 그 결과 원래의 근관 중심을 잘 유지하면서도 적절한 경사도를 갖는 바람직한 근관 성형을 할 수 있게 되었다.^{8,10-12} 뿐만 아니라, NiTi 파일을 사용함으로써 앞서 언급한 근관치료 과정에서 나타날 수 있는 여러가지 실수가 SS 파일에 비해서 감소(19% vs 39%)하였고 임상 치유 결과도 더 양호하게 나타난 것(77% vs 60%)으로 보고되었다.¹³

그러나 이렇게 모든 면에서 우월한 NiTi 파일도 늘 성공적인 결과를 보장하지는 않으며 술식 과정에서 일어날 수 있는 파절 위험성은 임상이 누구나가 두려워하는 것이 현실이다. 이에 본 문헌에서는 NiTi 파일의 형태에 따른 기계적 특성과 잠재적으로 연관될 수 있는 임상적 결과에 대해 고찰해보기로 한다.

본 론

1. NiTi 전동 파일의 파절 양상(Fracture modes of NiTi rotary files)

NiTi 전동 파일은 서두에서 언급한 바처럼 초탄성 특징으로 인해 연속적인 회전, 즉 reaming 동작으로 사용할 수 있다. 이러한 지속적인 회전은 파일 삭제할 사이로 잔사의 지속적인 배출을 가능하게 하여, 잔사의 근단부 압착을 막을 뿐만 아니라 치근단공을 넘어 나가는 정출을 최소화하여 근관 성형 이후에 나타날 수 있는 지각과민(의원성 급성 치근단 치주염) 혹은 감각이상, flare-up 등을 예방할 수 있다.^{1,6,10,13,14}

그러나 이러한 임상적 장점을 가져오는 지속적인 회전이 만곡 근관에서 일어나는 경우, 휘어진 파일이 회전하는 동안 최대 만곡부에서 압축력과 인장력을 반복하여 받게 되어, 반복 굴곡 피로 파절(cyclic bending fatigue fracture)이 발생한다.¹⁵⁻¹⁸ 혹은 회전하는 파일이 좁은 근관에 끼는 경우 비틀림 저항이 급격히 증가하게 되고, NiTi 합금이 견디는 항복 강도를 넘어가는 경우 파일의 날이 풀리거나 끊어지게 된다(Figure 1).¹⁹⁻²²

2. 비활성 파일팁과 glide path (Inactive file tip and glide path)

비틀림 저항을 받아서 파절이 일어나는 데는 파일의 형태적 특성이 관련된다. 대부분의 NiTi 파일은 inactive tip / non-cutting tip / guiding tip (다양하게 불리지만 같은 의미이다)을 가지고 있어 근관이 막히거나 급격한 각으로 휘어있지 않은 경우 근관벽을 따라 잘 들어갈 수 있도록 팁의 형태가 주어져 있다(Figure 2). 비교적 초기에 소개된 NiTi 파일인 Quantec System (Sybron Dental Specialties Inc, Orange, CA, USA)중에서는 일부 파일이 active cutting tip을 갖기도 했지만 근래의 전동 NiTi 파일 대부분은 inactive tip을 갖고 있어서 근단부 변위를 줄이는 효

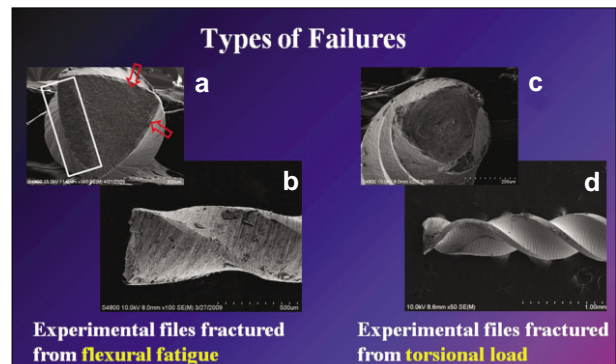


Figure 1. Fracture modes of Nickel-Titanium rotary files. (a, b) Experimental files fractured from flexural fatigue. Figure (a) shows crack initiation zone (arrow) and fast fracture zone (box) which are common findings in cyclic fatigue fracture. (c, d) Experimental files fractured from torsional load. Figure (c) shows circular abrasion marks and skewed dimples at the center of rotation which are common findings in torsional fracture.

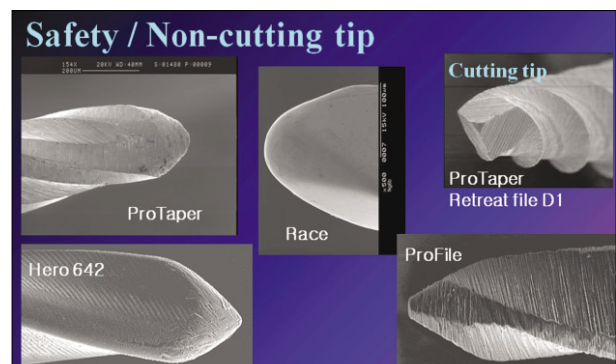


Figure 2. Non-cutting guiding tip of Nickel-Titanium rotary files. ProTaper retreatment file D1 has cutting tip.

파를 갖는다.^{6,11,12,23,24} 그렇지만 이렇게 삭제력을 둔화시킨 inactive tip을 갖기 때문에 근관이 갑자기 좁아지거나 파일의 shaft 경사도가 근관과 일치되는 경우 파일 팁이 끼게 되고 회전 저항력이 순간적으로 급증하면서 큰 비틀림 응력이 발생하게 되어 비틀림 파절이 발생하는 원인이 되기도 한다.^{25,26} 이러한 갑작스러운 응력 증가를 막기 위해 glide path를 확보하는 것이 안전한 파일 사용 방법이 된다.²⁷⁻²⁹

3. 파일 경사도와 임상 효과(Taper and clinical effects)

파일의 다양한 shaft 경사도를 이용하는 것이 비틀림 저항을 줄이는 방법이 될 수 있다. SS 파일이 2% 경사도로 주로 만들어진 것과는 달리 NiTi 파일은 2% (드물게), 4%, 6%, 8%, 혹은 그 이상의 큰 경사도로 만들어진다.

이런 다양한 경사도를 가진 파일을 이용하되 큰 경사도의 기구를 먼저 사용함으로써 파일과 근관의 접촉면적을 줄일 수 있고 파일 팁이 근관벽에 끼이지 않게 해준다. 즉 큰 경사도의 기구를 먼저 사용한 후에 작은 경사도의 파일을 사용함(크라운다운 기법)으로써 근단부의 기구 접근이 쉬워지는 것이다. 이로써 팁 부분의 비틀림 과부하를 막아주고 영구변형이나 파절을 감소시킨다.^{30,31}

한편 경사도는 파일의 위치에 따른 재료의 양을 증가시키게 되어, 파일의 강성을 높게 되고 궁극적으로 휨성이나 비틀림 현상에 영향을 주게 된다. 즉, 경사도가 커질수록 휨력이나 비틀림력에 의해 발생하는 응력이 줄어든다. 따라서 큰 경사도는 비틀림 파절을 줄여주고 삭제날의 강도와 삭제 효율을 유지하는데 도움을 준다.³²

그러나 파일이 같은 외곽 경사도(직경)를 가졌다 하더라도 각 파일의 단면 형태는 아주 다양하다. 이러한 형태에 의해서도 유연성(휨성)이나 비틀림 저항이 달라지게 된다. 동일한 직경(경사도)이라 하더라도 단면의 형태에 의해 합금 재료의 양(면적)이 적게 포함된 기구인 경우 더 유연하고 동일한 변형량에서는 더 적은 응력(동일한 하중에서는 더 큰 응력)을 나타내게 된다.³²⁻³⁴

4. 파일 횡단면적과 임상 효과(Cross-sectional area and clinical effects)

이렇게 파일의 단면의 형태나 넓이가 파일의 기계적 특성에 미치는 영향은 유한요소법으로 많이 연구되었다.³²⁻³⁷ 특히 단면적은 파일의 유연성과 비틀림 저항을 결정하는 아주 중요한 요소로서, 횡단면적이 넓을수록 비틀림 저항이 높아지고 유연성이 떨어진다(Figure 3). ProFile (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland)과 ProTaper (Dentsply Maillefer)를 비교하여 보면, ProFile처럼 U형의 홈을 갖고 단면적이 좁은 파일이 ProTaper처럼 볼록한 삼각 단면을 가진 더 넓은 면적의 파일보다 비틀림 저항은 떨어지는 반면 유연성은 더 좋아서 cyclic fatigue fracture에 대한 저항성이 높게 나타난다.¹⁸ 단면적이 더 넓은 ProTaper는 휨력(bending load)하에서 반력(reaction force)이 더 높게 나타나므로 유연성이 좋은 ProFile에 비해 근관 형성 시 만곡 근관의 외측 변위를 더 많이 유발한다.^{23,24,37} 그러나 좁은 근관에서는 높은 회전력(torque)과 함께 사용하여 빠른 성형을 하면서도 비틀림 파절의 위험성

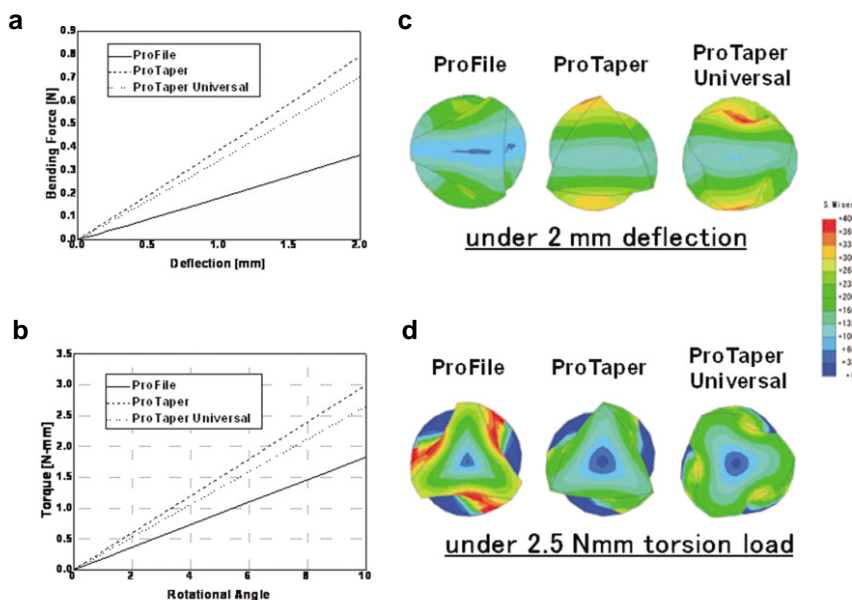


Figure 3. Mechanical responses on bending force and torque for ProFile .06/30, ProTaper F3 and ProTaper Universal F3. (a) Bending moment needed to deflect the tip. (b) Torque required to rotate the file under 4 mm tip restriction. (c) von Mises stresses distribution under 2 mm deflection. (d) von Mises stresses distribution under 2.5 Nmm torsion load. This figure is reproduced from the International Endodontic Journal 2009;42:14-21.³³

을 낮추는 데는 더 유리하다. 그렇지만 이런 비틀림에 저항성이 좋은 파일을 만곡이 심한 근관에서 사용하는 것은 굴곡 피로 파절을 유발할 가능성을 높인다. 따라서 서로 상반되는 파절 양상을 갖는 NiTi 파일의 형태적 특성을 고려하여, 만곡부에서 더 유연한 파일을 사용하고 좁지만 만곡이 없는 부위에서는 삭제력이 높고 비틀림 저항이 높은 파일을 쓰는 hybrid technique이 추천된다.^{23,24,36,38-42}

비틀림 저항에 영향을 미치는 단면적은 중심축(center-core)의 넓이 혹은 전체 횡단면의 넓이가 될 수 있다.^{33,34} 즉 단면적이 비슷하다면 비슷한 비틀림 저항을 갖는다고 볼 수 있다. 그러나 실제 단면 형태나 단면적이 거의 유사한 것으로 추정되는 파일의 비틀림 저항을 비교한 Park 등의 연구에서는 그 저항성이 유의한 차이가 있음이 보고되었고 그 이유로 파일의 pitch나 합금의 물성에 따른 차이 등을 추정하였다.⁴³ 같은 단면이라 하더라도 삭제날 간격이 클수록(pitch가 클수록) 더 유연해진다.³² 즉 파일의 장축을 따르는 삭제날의 수가 적을수록 많은 경우보다 더 쉽게 휘어지고 비틀림력에 대해 더 많은 변형이 일어날 수 있음을 말한다. 특히 Park 등은 임상상황에서 일어나는 locking 현상을 재연하는 반복 비틀림 하중을 주었는데, 비교적 최근 출시된 Twisted File (TF, SybronEndo, Orange, CA, USA)이 반복 비틀림에 대한 저항성이 떨어지는 것을 보고하고, 이는 열처리를 통한 R-phase 기술과 꼬아서 만든 제조 방법이 피로 파절 저항성은 높였지만 비틀림 저항성에는 도움이 되지 못했다고 추정하였다.⁴³ R-phase는 NiTi 합금의 입자 구조를 열처리를 통해 오스테나이트(면심입방 조직을 이루는 안정 상태)와는 다르게 만든 것으로서, R-phase는 절삭 가공이 불가능하기 때문에 TF는 꼬아서 만들게 된 것이다(꼬아서 만들기 위해 R-phase를 이용했다고 할 수도 있음). TF는 꼬아서 형태를 만든 후 다시 열처리를 하여 원래의 오스테나이트 구조로 되돌려서 완성한 것이다. 이렇게 제조된 TF 파일은 유연성이 우수하고 반복 굴곡 피로에는 저항성이 우수하지만 비틀림 저항이 떨어져 낮은 토크로 사용하는 것이 적절하다.^{19,43-46} 전용 엔진의 토크(auto-reverse turn을 위한 설정 값)를 높게 사용하면 비틀림 파절 전의 풀림 현상을 관찰하기도 전에 파절이 일어날 수 있다. 반대로 낮은 토크 값과 함께 날풀림 현상을 잘 관찰하면서 사용하면 만곡근관의 중심 유지와 함께 안전한 사용을 할 수 있을 것이다.⁴³ 이러한 날 풀림 현상은 비틀림 파절이 일어나기 전에 사용을 중단할 수 있도록 임상가에게 일종의 safety zone을 제공하는 장점으로 받아들여진다.⁴⁷

그러나 파일의 삭제날 풀림이 일어나기 시작하는 항복점이나 비틀림 파절이 일어나기 전의 최고 응력은 다양한 형태를 가진 기구 종류마다 다르고 각각의 응력에서 그 비틀림 변형량도 달라지게 된다.^{20,47-49} 최고 비틀림 응력값이 높은 파일은 강성이 비교적 높으므로 비틀림 변형값이 작고

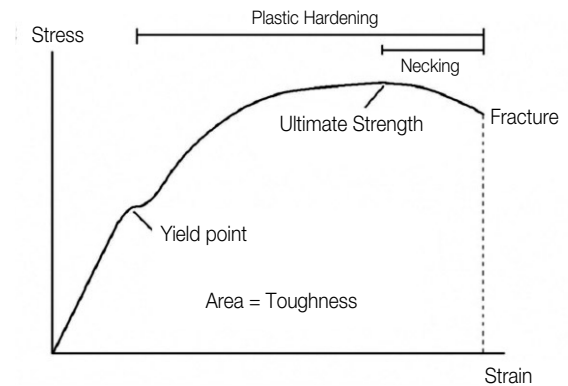


Figure 4. Schematic diagram showing a typical stress (torsional load) versus strain (distortion angle) relationship, with the various stages of deformation labeled. The calculated area under the stress-strain curve up to the point of fracture represents the toughness of the specimen.^{46,50}

비틀림 변형이 비교적 길게 나타나는 기구는 최대 비틀림 응력이 낮게 나타난다. 따라서 임상가는 비틀림 저항이 높은 것(삭제력을 강하게 사용할 수 있다)이 좋은가 혹은 비틀림 변형량이 큰 것(safety zone이 크다)이 좋은가에 대해 선택(고민)을 할 수 있다. 따라서 두 가지 상반되는 참고점을 동시에 고려할 기준이 필요하다. 이에 Yum 등은 그 응력값과 변형량을 기초로 하여 산출한 인성(toughness)을 비틀림 파절에 대한 저항성을 판단하는 기준으로 사용하기를 제시하였다.⁴⁶ 인성은 재료를 파괴하는 데 필요한 전체 에너지의 양으로 정의될 수 있고 Figure 4에서처럼 stress-strain curve의 아래에 놓이는 전체 면적을 의미한다.^{46,50} 이러한 인성을 기준으로 볼 때는(실험에 사용된 파일 시스템 중에) 최대 비틀림 응력을 가진 Mtwo (VDW, Munich, Germany) 파일보다는 최대 하중은 낮지만 비틀림 변형량이 큰 ProFile이 가장 좋은 인성을 나타냈다고 보고하였다. 이러한 인성은 비틀림 하중에 대한 파일의 내구성(파절 저항성) 등을 평가할 때 참고를 할 필요가 있을 것으로 보인다.

5. 열처리와 표면 특성(Heat treatments and surface characteristics)

NiTi 파일의 파절에 관련한 연구가 다양하게 진행되어왔지만 그 연구는 피로 파절 저항에 더 많이 집중되었고 비틀림 저항에 대한 연구는 상대적으로 덜 이루어졌다. 앞으로 더 많은 연구가 필요하지만, 지금까지의 연구 결과를 바탕으로 볼 때 복잡하고 다양한 단면 형태를 가진 파일들의 기

계적인 특성을 쉽게 비교 예측하기는 어렵다.⁴⁸ 특히 수리적 연구(유한요소연구)를 통해 구조 해석을 많이 해 왔지만 이들 연구 연구는 형태적 분석만을 한 것으로서 제조과정의 많은 변수들을 포함시키지 못한 해석이라는 것을 간과할 수 없다.^{33-7,44} 그 중 한가지가 앞서 언급한 것처럼 합금이나 제조과정에서의 열처리에 따른 물성 차이이다.

20여 년의 역사가 지나는 동안 가장 근래의 변화가 NiTi 파일을 만드는 합금(상)의 변화이다. 전통적인 NiTi 합금의 혼합 질량비는 동일하지만 열처리에 따라 그 성질이 달라지게 되었고 이러한 합금을 이용한 것이 하나의 큰 변화를 가져왔다. R-phase 기술을 이용하여 처음으로 꼬아서 만든 TF 파일뿐만이 아니라,⁴³⁻⁴⁵ M-wire NiTi 합금을 이용한 파일도 새로운 재료의 변화에 속한다.⁵¹ GT Series X (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, USA)가 M-wire를 이용한 것인데 이 파일 역시 다양한 온도에서 특별한 인장력과 함께 열처리 과정을 통해 새로운 물성(martensite와 premartensitic R-phase를 모두 포함하며 pseudoelasticity를 유지함)을 갖도록 개발한 것이다.⁵¹ 이 M-wire를 이용한 파일도 R-phase를 이용하여 꼬아서 제작한 경우처럼 전통적인 NiTi 합금을 이용한 것보다 더 좋은 굴곡 피로 저항성을 나타냈지만 역시 비틀림 저항은 떨어지는 결과를 가져왔다.^{19,43,45,46,51-54}

이런 열처리 과정 등을 통한 합금의 물성 차이에 의한 것과 함께 간과될 수 없는 것으로 제조과정에서의 파일 표면 처리이다. 절삭 방법으로 제조된 기구는 금속 입자를 가로지르는 미세파절선(절삭흔)이 파일 전 길이에 걸쳐 존재하고 따라서 태생적으로 파절에 저항할 수 없다. 연구 결과에

따르면, 표면 연마가 잘 되었거나 제조과정에서 표면의 절삭흔이 발생하지 않는 꼬아 만든 파일의 경우 상대적으로 피로 파절 저항성이 높은 것으로 나타났다.^{19,44,45} Kim 등의 연구에 의하면 피로 파절이 생기기 시작하는 기시점이 파일 표면의 미세 흠을 따르는 경우 파절 저항성이 떨어지고, 표면에 삭제흔이 없거나 부드럽고 잘 연마된 경우에는 파절의 진행이 억제(지연)됨으로써 피로 파절 저항성이 높아진다고 하였다(Figure 5).⁴⁴ 따라서 이러한 파절 성향을 줄여주기 위하여 표면의 미세 파절선을 메우거나 부드럽게 하는 electropolishing 등의 부가적인 과정을 취하는 것이 파절 저항성을 높이는데 도움이 되었다.^{55,56}

6. Screw-in 효과와 치근 상아질의 유지(Screw-in effect and preservation of root dentin integrity)

대부분의 NiTi 파일에 관한 연구 개발이 이형성을 줄이면서 성형 효율을 높이기 위한 방향, 그리고 파절을 줄이기 위한 방향으로 진행되고 있다. 이와 함께 NiTi 파일을 사용함에도 여전히 존재하는 근관 성형의 불완전성이나 치근 상아질에 대한 위해성도 제안되고 있다.^{8,57,58}

Bier 등은 전통 파일의 종류에 따라서 근관 성형에 따른 근관 상아질의 손상이 다르게 나타난다고 하였으며,⁵⁹ Kim 등도 전통 파일의 종류에 따라 치근단공 주변으로 집중되는 응력이 다르며 이런 힘이 치근단 공 주변의 상아질 파절을 유발할 수도 있는 잠재적 유해성을 가진다고 보고하였다.⁶⁰ 이러한 내용은 Adorno 등이 제안한 것과 관련하여 고려할

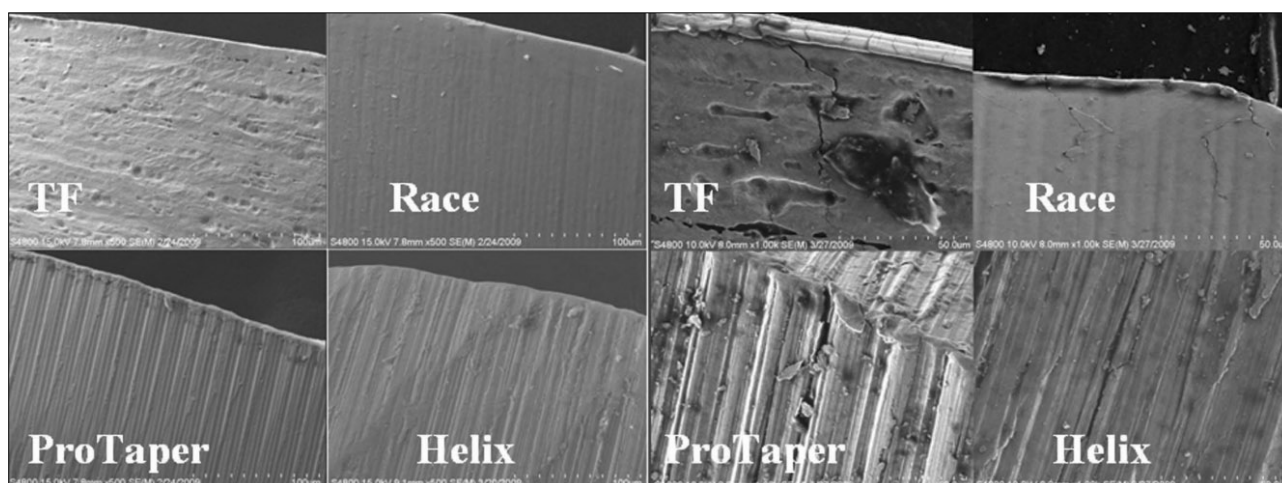


Figure 5. Various machined surface of NiTi rotary files before cyclic loading (left) and micro-cracks near the fatigue fracture area. Fine cracks that assumed an irregular path were noted in TF and RaCe, whereas ProTaper and Helix showed cracks running along the machining grooves. This figure is reproduced from the Journal of Endodontics 2010;36:147-152.⁴⁴

필요가 있다.⁵⁷ Adorno 등은 근관 성형의 방법보다는 기구 조작의 길이가 근단공 주변에서 미세치근파절을 유발할 가능성이 있다고 제시하였다.⁵⁷ 전동 파일을 사용하는 과정에서 나타나는 self-threading screw-in 효과는 작업장을 지나침과 동시에 잠재적인 치근단공 주변의 미세 파절을 유발할 수 있음을 고려하여야 한다.⁶⁰⁻⁶³ 이런 근단부의 미세 파절은 치명적인 수직 치근 파절의 직접적인 원인이 될 수 있으므로,^{64,65} NiTi 전동 파일을 사용할 때는 치근 상아질을 삭제하는 삭제력 뿐만 아니라, screw-in 효과도 고려할 필요가 있다. 이러한 screw-in 효과는 radial land를 가진 파일보다 blade 형의 삭제날을 가진 active 파일에서 더 심하게 나타나고, 초심자들이 NiTi 파일의 사용을 두려워하는 원인이 되기도 한다.⁶¹ 따라서 이런 active system을 사용할 때는 손가락을 이용한 지지를 더욱 견고하게 갖는 것이 중요하고 파일을 근관으로 밀어 넣겠다는 생각을 하기보다는 엔진의 회전력과 screw-in 효과에 의해 파일이 근관으로 자연스럽게 서서히 끌려 들어가게 하면서 저항이 느껴질 때 술자가 파일을 끌어내는 것에 더 노력하는 것이 바람직하다. Screw-in 효과와 함께 근관벽으로 향하는 반력도 고려할 필요가 있는데, 이러한 반력은 특히 만곡 근관에서 screw-in 효과에 의해 치근단공 주변의 미세 파절을 유발할 가능성과 동반하여 더욱 높일 수 있다.^{37,60,65} Kim 등은 유한요소 연구 결과를 토대로 NiTi 전동 파일의 회전 동안 발생하는 반력에 의해 만곡 근관의 치근단공 주변 상아질이 파괴될 수 있는 충분한 인장 응력이 발생함을 보고하였다(Figure 6).⁶⁰ 이 연구와 Adorno 등의 연구를 동시에 고려하면, 파일 샤프트의 반력이 크고 screw-in 효과가 큰 파일을 만곡

근관에서 사용하는 경우 근관장을 지나치면서 치근단공 주변에 미세 파절을 유발할 수 있음을 고려하여 적절한 파일(반력이 작은 파일)을 선택하고 적용하여야 할 것이다.⁵⁷

7. Screw-in 효과를 줄이기 위한 고안(Designs for reducing screw-in effect)

Self-threading screw-in 현상은 전동 파일이 연속적으로 회전하는 것과 함께 helical angle에 의해 일어나며, 이런 현상은 blade type 삭제날을 가진 파일의 경우 더욱 심하게 나타난다.⁶¹⁻⁶³ 파일의 장축에 대해 삭제 날이 이루는 각도를 helical angle이라 하는데, 이 각도는 파일의 유연성과 잔사 제거의 효율에 영향을 미친다. 작은 각도의 helical angle인 경우에는 잔사가 더 빨리 배출될 수 있음을 말한다. 즉 파일이 한 바퀴 돌 때 flute 사이의 삭제 잔사가 작은 helical angle을 따라 더 높이 상부로 이동하게 된다. 아울러 이는 유연성을 더 증가시키는 요소가 된다. 즉 K file보다는 reamer가 삭제날 수가 적으면서 helical angle이 작은데 이런 형태가 reamer를 더 유연하게 만드는 것과 동일하다(Figure 7). 그렇지만 유연성과 잔사 배출에 유리한 작은 helical angle은 더 큰 pitch와 함께 빨리 근단부로 파일이 진입하도록 하는 효과를 만들게 된다. 그렇지만 이러한 screw-in 효과는 파일의 회전이나 helical angle, pitch 등에 의해서만 결정되는 것이 아니고, radial land 등의 구조와 파일의 경사도, 근관의 만곡, 근관 상아질의 상태나 근관 내로 파일을 진입하는 속도 등에 의해 복합적으로 영향을 받는다.

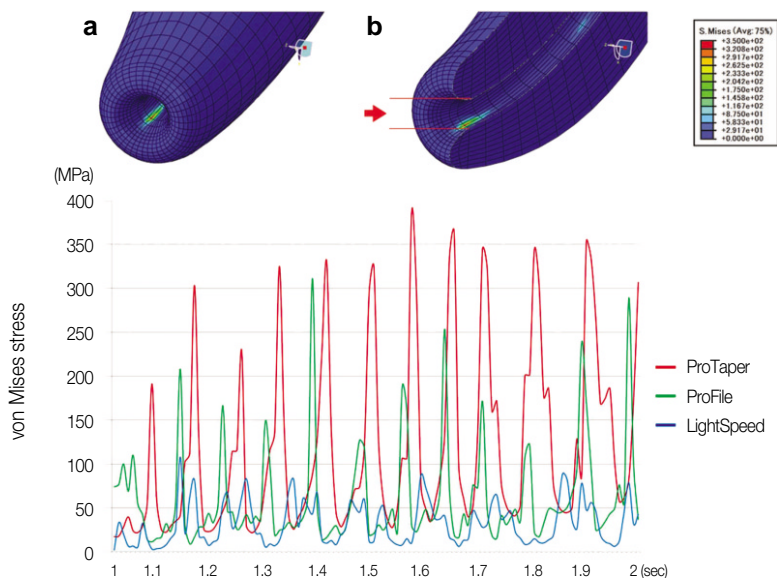


Figure 6. Representative von Mises stress distribution at the apical dentin during simulated shaping rotation with ProTaper at the working length: (a) the apical aspect and (b) the longitudinal section. Arrow indicates the apical constriction where maximum stress was located. The graph shows the cyclic stress profile during simulated shaping over a period of 1 second for all three rotary instruments in the location (a node of FE model) in which the highest von Mises stress was found (highest stress value for each file: ProTaper 386 MPa, ProFile 311 MPa, LightSpeed 108 MPa). This figure is cited from the Journal of Endodontics 2010;36:1195-1199.⁶⁰

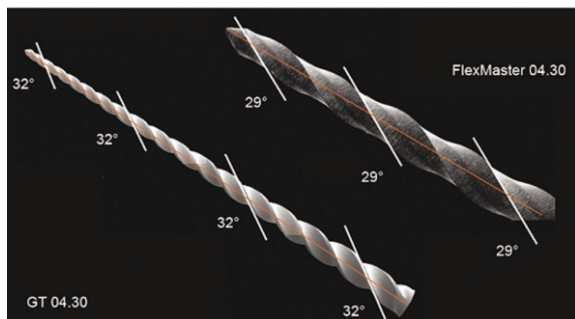
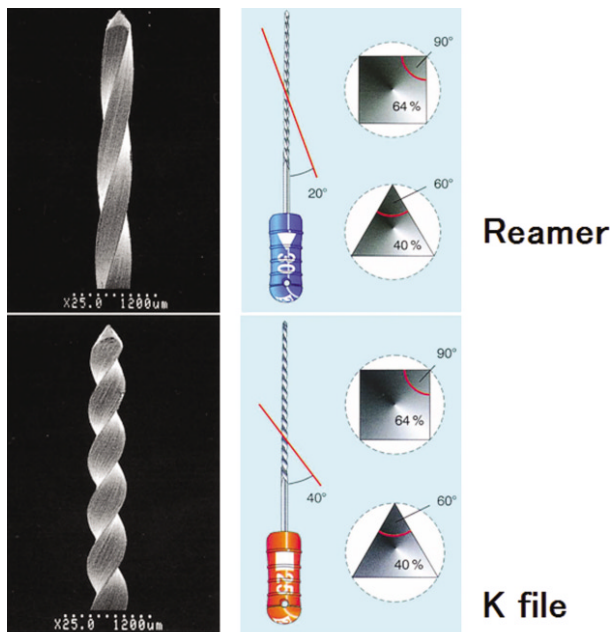


Figure 7. The difference of helical angle between K-file and reamer (upper). The different helical angle and pitch from GT file and FlexMaster are shown (lower).

그럼에도 불구하고, screw-in 효과를 줄이기 위한 다양한 시도가 있다. Reverse taper를 가진 S-apex (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Switzerland)나 파일의 축에 삭제날이 없고 경사도가 없는 Lightspeed (Lightspeed Technology, San Antonio, TX, USA) 파일은 근관벽과의 접촉을 최소화함으로써 screw-in 효과가 발생하지 않는다. LIBERATOR (Miltex, York, PA, USA)는 self-threading을 유발하는 날의 꼬임(helix)이 없이 단순히 삼각 단면을 가진 경사진 형태로 만들어졌다. 이런 경우에도 screw-in 효과가 전혀 발생하지 않는다. 최근 Self-adjusting file (SAF, ReDent-Nova, Ráanana, Israel)로 소개된 특이한 형태의 파일은 레이저를 이용한 가공으로 가느다란 그물 형태의 파일 구조를 갖고 있다. 이 파일은 하

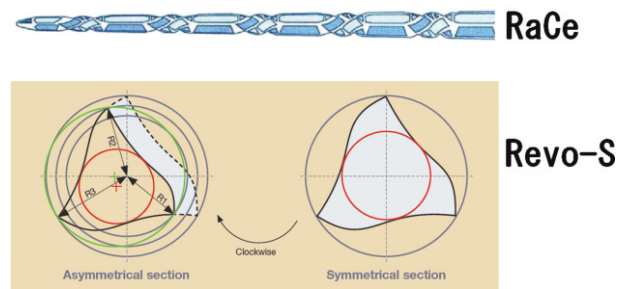


Figure 8. Alternative pitch of RaCe and asymmetrical cross-section of Revo-S for reducing screw-in effect.

나의 파일이 진동에 의해 근관 형태에 맞게 변형되면서 근관을 미세하게 삭제하도록 고안되어 있으며, 한 개의 파일만으로 근관을 성형할 수 있다고 제안되었다.⁶⁶ SAF도 나사형 구조가 아니므로 screw-in 효과는 전혀 발생하지 않는다. RaCe (FKG Dentaire) 파일의 경우 alternative pitch (길고 짧은 pitch를 혼합하여 배열)를 부여하여 screw-in 효과를 줄이려 시도하였고 Revo-S (Micromega, Besançon, France) 파일의 경우 비대칭 단면을 부여하여 유연성의 증가와 함께 근관벽과의 접촉을 줄임으로써 screw-in 효과를 감소시키려고 시도하였다(Figure 8).

가장 최근에는 지속적인 회전이 screw-in의 가장 기본적인 원인이라는 전제하에 이러한 전동 파일의 사용 방식을 완전히 새롭게 제시하기 시작하였다.⁶⁷⁻⁷⁰ Balanced force technique에서처럼 파일을 시계방향-반시계방향으로 반복하여 사용하는 Reciprocation technique을 바탕으로 하는 이러한 새로운 제안들은 특징적으로 한 개의 파일을 사용하여 근관을 성형할 수 있다는 내용을 포함하고 있다. 그렇지만, 이런 기법들의 효율성에 대해서는 최근 소개되기 시작한 파일들(RECIPROC, VDW, Munich, Germany; WAVEONE, Dentsply International Inc.)과 함께 더 연구가 필요하다.

결론

전동 NiTi 파일의 역사가 20여 년이 넘어가면서 앞서 언급한 합금의 변화(열처리)나 제조 방법, 새로운 형태의 파일까지 제시되었다. 현재까지 일상적으로 사용되고 있는 대부분의 파일은 55 (Ni) : 45 (Ti)의 조성의 동일한 NiTi 합금으로 만들어지기 때문에, 각각의 파일의 기계적 물리적 특성은 그 파일이 가진 구조 형태적 특징과 열처리 표면처리 등에 의해 결정되고 임상에서 각기 다른 성향을 나타내게 된다. 따라서 각 파일이 갖는 고유의 구조적 특성을 비교

함으로써 직접 사용하지 않더라도 외형적 특징과 제조 공정에 따른 특성을 예측할 수 있고 파일을 선택하는 기준으로 참고할 수 있을 것이다.

본 문헌에서는 다양한 NiTi 기구의 형태와 이에 따른 임상 적용 결과의 잠재적 연관성을 살펴보았다. 많은 연구 개발에도 불구하고, NiTi 파일이라도 근관 성형을 완전하게 할 수 없고, 근관벽의 상당부분이 파일에 의해 접촉되지 않고 남을 수 있음으로 고려할 때,⁸ 화학적 세정의 중요성은 더욱 중요하다. 또, 세정액의 효율적인 적용을 위해서는 성형과정을 간과할 수 없다. 이는 서로 상호보완적인 역할(mutual interaction)을 한다.

특정 파일 한 가지 혹은 최소 수량(1-3개)의 파일로 생물학적인 기계적인 목적을 모두 달성하고 임상적인 성공을 보장하는 근관성형을 할 수는 없다. 근관의 형태나 근관의 조건에 맞는 파일을 다양하게 선택하여 적용하는 것이 원래의 목적을 달성하면서 장기적인 임상 예후를 증진시키는데 도움이 될 것이다.

References

- Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am* 1974;18:269-296.
- Carrotte P. Endodontics: Part 7. Preparing the root canal. *Br Dent J* 2004;197(10):603-613.
- Ruddle CJ. Cleaning and shaping root canal systems. In: Cohen S, Burns RC, eds. *Pathways of the pulp*. 8th ed. St Louis: CV Mosby, 2002:231-291.
- Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG, Jr. The "balanced force" concept for instrumentation of curved canals. *J Endod* 1985;11:203-211.
- Peters OA. Current Challenges and Concepts in the Preparation of Root Canal Systems: A Review. *J Endod* 2004;30:559-567.
- Chen JL, Messer HH. A comparison of stainless steel hand and rotary nickel-titanium instrumentation using a silicone impression technique. *Aust Dent J* 2002;47:12-20.
- Jafarzadeh H, Abbott PV. Ledge Formation: Review of a Great Challenge in Endodontics. *J Endod* 2007;33:1155-1162.
- Peters OA, Schönenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J* 2001;34:221-230.
- Walia HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod* 1988;14:346-351.
- Schäfer E, Schulz-Bongert U, Tulus G. Comparison of hand stainless steel and nickel titanium rotary instrumentation: a clinical study. *J Endod* 2004;30:432-435.
- Garip Y, Gunday M. The use of computed tomography when comparing nickeltitanium and stainless steel files during preparation of simulated curved canals. *Int Endod J* 2001;34:452-457.
- Schäfer E. Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments and stainless steel hand K-Filexfiles in simulated curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2001;92:215-220.
- Cheung GSP, Liu CSY. A retrospective study of endodontic treatment outcome between nickel-titanium rotary and stainless steel hand filing techniques. *J Endod* 2009;35:938-943.
- Seltzer S, Naidorf IJ. Flare-ups in endodontics: I. Etiological factors. *J Endod* 1985;11:472-478.
- Plotino G, Grande NM, Cordaro M, Testarelli L, Gambarini G. A Review of Cyclic Fatigue Testing of Nickel-Titanium Rotary Instruments. *J Endod* 2009;35:1469-1476.
- Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL Jr., Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod* 1997;23:77-85.
- Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, Messer HH. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *J Endod* 2000;26:161-165.
- Shen Y, Cheung GS, Bian Z, Peng B. Comparison of defects in ProFile and ProTaper systems after clinical use. *J Endod* 2006;32:61-65.
- Gambarini G, Grande NM, Plotino G, Somma F, Garala M, De Luca M, Testarelli L. Fatigue resistance of engine-driven rotary nickel-titanium instruments produced by new manufacturing methods. *J Endod* 2008;34:1003-1005.
- Best S, Watson P, Pilliar R, Kulkarni GG, Yared G. Torsional fatigue and endurance limit of a size 30 .06 ProFile rotary instrument. *Int Endod J* 2004;37:370-373.
- Peters OA, Peters CI, Schönenberger K, Barbakow F. ProTaper rotary root canal preparation: assessment of torque and force in relation to canal anatomy. *Int Endod J* 2003;36:93-99.
- Kramkowski TR, Bahcall J. An *In Vitro* Comparison of Torsional Stress and Cyclic Fatigue Resistance of ProFile GT and ProFile GT Series X Rotary Nickel-Titanium Files. *J Endod* 2009;35:404-407.
- Clauder T, Baumann MA. ProTaper NT system. *Dent Clin N Am* 2004;48:87-111.
- Hsu YY, Kim S. The ProFile system. *Dent Clin N Am* 2004;48:69-85.
- 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.
- Schrader C, Peters OA. Analysis of Torque and Force with Differently Tapered Rotary Endodontic Instruments *In Vitro*. *J Endod* 2005;31:120-123.
- Uroz-Torres D, González-Rodríguez MP, Ferrer-Luque CM. Effectiveness of a Manual Glide Path on the Preparation of Curved Root Canals by Using Mtwo Rotary Instruments. *J Endod* 2009;35:699-702.
- Patino PV, Biedma BM, Liébana CR, Cantatore G, Bahillo JG. The influence of a manual glide path on the separation rate of NiTi rotary instruments. *J Endod* 2005;31:114-116.
- Berutti E, Cantatore G, Castellucci A, Chiandussi G, Pera F, Migliaretti G, Pasqualini D. Use of nickel-titanium rotary PathFile to create the glide path: comparison with manual preflaring in simulated root canals. *J Endod* 2009;35:408-412.
- Buchanan LS. The standardized-taper root canal preparation - Part 3. GT file technique in Large Root canals with small apical diameters. *Int Endod J* 2001;34:149-156.

31. Schrader C, Ackermann M, Barbakow F. Step-by-step description of a rotary root canal preparation technique. *Int Endod J* 1999;32:312-320.
32. Rui He, Jun Ni. Design Improvement and Failure Reduction of Endodontic Files through Finite Element Analysis: Application to V-Taper File Designs. *J Endod* 2010;36:1552-1557.
33. Kim TO, Cheung GS, Lee JM, Kim BM, Hur B, Kim HC. Stress distribution of three NiTi rotary files under bending and torsional conditions using a mathematic analysis. *Int Endod J* 2009;42:14-21.
34. Kim HC, Kim HJ, Lee CJ, Kim BM, Park JK, Versluis A. Mechanical response of nickel-titanium instruments with different cross-sectional designs during shaping of simulated curved canals. *Int Endod J* 2009;42:593-602.
35. Xu X, Eng M, Zheng Y, Eng D. Comparative study of torsional and bending properties for six models of nickel-titanium root canal instruments with different cross-sections. *J Endod* 2006;32:372-375.
36. Berutti E, Chiandussi G, Gaviglio I, Ibba A. Comparative analysis of torsional and bending stresses in two mathematical models of nickel-titanium rotary instruments: ProTaper versus ProFile. *J Endod* 2003;29:15-19.
37. Kim HC, Cheung GS, Lee CJ, Kim BM, Park JK, Kang SI. 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* 2008;34:743-747.
38. Walsch H. The hybrid concept of nickel-titanium rotary instrumentation. *Dent Clin North Am* 2004;48:183-202.
39. Setzer FC, Kwon TK, Karabucak B. Comparison of Apical Transportation between Two Rotary File Systems and Two Hybrid Rotary Instrumentation Sequences. *J Endod* 2010;36:1226-1229.
40. Câmara AS, de Castro Martins R, Viana AC, de Toledo Leonardo R, Buono VT, de Azevedo Bahia MG. Flexibility and Torsional Strength of ProTaper and ProTaper Universal Rotary Instruments Assessed by Mechanical Tests. *J Endod* 2009;35:113-116.
41. Kim JW, Park JK, Hur B, Kim HC. Comparison of shaping ability using various Nickel-Titanium rotary files and hybrid technique. *J Kor Acad Cons Dent* 2007;32:530-541.
42. Hong ES, Park JK, Hur B, Kim HC. Comparison of shaping ability between various hybrid instrumentation methods with ProTaper. *J Kor Acad Cons Dent* 2006;31:11-19.
43. Park SY, Cheung GS, Yum J, Hur B, Park JK, Kim HC. Dynamic torsional resistance of nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2010;36:1200-1204.
44. Kim HC, Yum J, Hur B, Cheung GS. Cyclic fatigue and fracture characteristics of ground and twisted nickel-titanium rotary files. *J Endod* 2010;36:147-152.
45. Larsen CM, Watanabe I, Glickman GN, He J. Cyclic fatigue analysis of a new generation of nickel titanium rotary instruments. *J Endod* 2009;35:401-403.
46. Yum J, Cheung GS, Park JK, Hur B, Kim HC. Torsional Strength and Toughness of Nickel-Titanium Rotary Files. *J Endod* 2011 in press (doi:10.1016/j.joen.2010.11.028).
47. Wolcott J, Himel V. Torsional properties of nickel-titanium versus stainless steel endodontic files. *J Endod* 1997;23:217-220.
48. Kuhn G, Jordan L. Fatigue and Mechanical Properties of Nickel-Titanium Endodontic Instruments. *J Endod* 2002;28:716-720.
49. Bahia MG, Melo MC, Buono VT. Influence of simulated clinical use on the torsional behavior of nickel-titanium rotary endodontic instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006;101:675-680.
50. Gere JM. Mechanics of materials. 5th ed. Pacific Grove, California: Brooks-Cole;2001. Chapter 1:p1-66.
51. Johnson E, Lloyd A, Kuttler S, Namerow K. Comparison between a novel nickel-titanium alloy and 508 nitinol on the cyclic fatigue life of ProFile 25/.04 rotary instruments. *J Endod* 2008;34:1406-1409.
52. Al-Hadlaq SM, Aljarbou FA, AlThumairy RI. Evaluation of cyclic flexural fatigue of M-wire nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2010;36:305-307.
53. Kramkowski TR, Bahcall J. An *in vitro* comparison of torsional stress and cyclic fatigue resistance of ProFile GT and ProFile GT Series X rotary nickel-titanium files. *J Endod* 2009;35:404-407.
54. da Cunha Peixoto IF, Pereira ES, da Silva JG, Viana AC, Buono VT, Bahia MG. Flexural fatigue and torsional resistance of ProFile GT and ProFile GT series X instruments. *J Endod* 2010;36:741-744.
55. Anderson ME, Price JW, Parashos P. Fracture resistance of electropolished rotary nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod* 2007;33:1212-1216.
56. Bui TB, Mitchell JC, Baumgartner JC. Effect of electropolishing ProFile nickel-titanium rotary instruments on cyclic fatigue resistance, torsional resistance, and cutting efficiency. *J Endod* 2008;34:190-193.
57. Adorno CG, Yoshioka T, Suda H. The effect of root preparation technique and instrumentation length on the development of apical root cracks. *J Endod* 2009;35:389-392.
58. Cheng R, Zhou XD, Liu Z, Yang H, Gao QH, Hu T. Finite element analysis of the effects of three preparation techniques on stresses within roots having curved canals. *Int Endod J* 2009;42:220-226.
59. Bier CA, Shemesh H, Tanomaru-Filho M, Wesselink PR, Wu MK. The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation. *J Endod* 2009;35:236-238.
60. Kim HC, Lee MH, Yum J, Versluis A, Lee CJ, Kim BM. Potential relationship between design of nickel-titanium rotary instruments and vertical root fracture. *J Endod* 2010;36:1195-1199.
61. Oh SH, Park JK, Hur B, Kim HC. Comparison of screw-in effect of three NiTi file systems used by undergraduates. *J Kor Acad Cons Dent* 2006;31:477-484.
62. Son JY, Ha JH, Kim YK. Influence of root canal curvature on the screw-in effect of nickel-titanium rotary files in simulated resin root canal. *J Kor Acad Cons Dent* 2010;35:374-379.
63. Sung HJ, Ha JH, Kim SK. Influence of taper on the screw-in effect of nickel-titanium rotary files in simulated resin root canal. *J Kor Acad Cons Dent* 2010;35:380-386.
64. Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH. Patterns of vertical root fracture: factors affecting stress distrib-

- ution in the root canal. *J Endod* 2003;29:523-528.
65. Tamse A, Fuss Z, Lustig J, Kaplavi J. An evaluation of endodontically treated vertically fractured teeth. *J Endod* 1999;25:506-508.
66. Peters OA, Boessler C, Paqué F. Root canal preparation with a novel nickel-titanium instrument evaluated with micro-computed tomography: canal surface preparation over time. *J Endod* 2010;36:1068-1072.
67. Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J* 2008;41:339-344.
68. De-Deus G, Barino B, Zamolyi RQ, Souza E, Fonseca A Jr, Fidel S, Fidel RA. Suboptimal debridement quality produced by the single-file F2 ProTaper technique in oval-shaped canals. *J Endod* 2010;36:1897-1900.
69. De-Deus G, Brandão MC, Barino B, Di Giorgi K, Fidel RA, Luna AS. Assessment of apically extruded debris produced by the single-file ProTaper F2 technique under reciprocating movement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010;110:390-394.
70. You SY, Bae KS, Baek SH, Kum KY, Shon WJ, Lee W. Lifespan of one nickel-titanium rotary file with reciprocating motion in curved root canals. *J Endod* 2010;36:1991-1994.

국문초록

근관치료 기구의 기계 형태적 특성과 이에 따른 임상적 영향 고찰

김현철*

부산대학교 치의학전문대학원 치과보존학교실

서론: 이 문헌의 목적은 Nickel-titanium (NiTi) 전동 파일의 기계적 형태적 양상과 이에 의한 임상적 연관성을 고찰하는 것이다. NiTi 전동 파일은 다양한 고유의 형태로 시장에 소개되었고 경쟁 상품에 비해서 근관 성형에 더 나은 능력을 가졌다고 주장하고 있다.

본론: 이 문헌에서는 NiTi 전동 파일의 형태(예. 팁, 테이퍼, helical angle 등)와 파일의 임상 적용 성과 사이의 가능한 상관관계를 다음과 같이 다룬다:

- NiTi 전동 파일의 파절 양상
- 비활성 파일팁과 glide path
- 파일 경사도와 임상 효과
- 파일 횡단면적과 임상 효과
- 열처리와 표면 특성
- Screw-in 효과와 치근 상아질의 유지
- Screw-in 효과를 줄이기 위한 고안

결론: 이상의 내용을 바탕으로, 임상가는 다양한 NiTi 전동 기구를 사용함에 있어 임상 상황에 적절한 장점을 고려하여 선택하고 사용할 수 있는 도움을 받을 수 있을 것이다.

주요단어: 기계적 반응, 열처리, 파절, 형태, 횡단면, NiTi 전동 파일