

모형레진 근관에서 엔진 구동용 니켈-타이타늄 파일의 경사도의 차이에 따른 근관성형력의 비교

금기연 · 임경란* · 정일영 · 이승종 · 이찬영
연세대학교 치과대학 보존학교실, 분당재생병원 보존과*

ABSTRACT

COMPARISON OF SHAPING ABILITY OF NICKEL-TITANIUM ROTARY FILES WITH DIFFERENT TAPER IN SIMULATED RESIN CANALS

Kee-Yeon Kum, Kyoung-Ran Lim*, Il-Young Jung, Sung-Jong Lee, Chan-Young Lee
Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Yonsei University
*Department of Conservative Dentistry, Pundang Jesaeng General Hospital**

The aim of this study was to compare shaping ability of nickel-titanium rotary files with different taper in simulated resin canals. The instruments used in this study were GT with .04 taper ProFile with ISO-sized tip, .04 taper ProFile with ISO-sized tip alone, and .02 taper Naviflex file and all canals were prepared by crown-down technique. A total of 30 composite images were made from pre- and post-canal scanned images using Scanjet 4C scanner and Corel photopaint 8.0 and then, prevalence of canal aberrations was measured. The amount of coronal substance the instruments removed was also calculated two-dimensionally on digitized images with the Brain C software to compare the relative enlarging efficiency. Finally, the prepared internal canal form was evaluated three-dimensionally with impression technique. The results were as follows:

1. The incidence of zipping in Naviflex group was significantly high compared to the other two groups($P<.05$).
2. The amount of coronal substance the GT combined group removed was significantly larger than the other two groups($P<.05$).
3. The GT combined group produced canals with good taper and flow.

Under the conditionas of this study, the combined use of larger tapered nickel-titanium rotary files prepared simulated canals safely, efficiently and with good three-dimensional form.

Key words : Canal aberration, Digitizing images, Shaping ability, Three-dimensional form

I . 서 론

근관성형은 근관치료의 성공을 위한 중요한 과정으로써, 근단부 치수조직의 잔사 제거가 선행되어야 하고, 오염된 모든 상아질이 제거되어야 하며, 근단공을 실용적으로 작게

보존하면서 치경부로 갈수록 넓어지는 연속적인 깔대기 모양을 가져야 한다¹⁾.

그러나 좁고 만곡된 근관에서는 원래의 근관장을 유지하기 어려우며 치근단 부위에 ledge 및 천공이 일어나기 쉽다. 특히 만곡 근관 내에서 기구가 원래의 형태를 유지하기 위

* This work was supported in part by Yonsei Dental Hospital Reseach Fund of 1998.

해 발생하는 힘은 직접적으로 근관성형에 영향을 미치는데, 기구의 크기가 커질수록 "elastic memory"는 더욱 증대하여 근관을 직선화하려는 경향이 증가된다. 또한 복잡한 근관의 내부구조와 근관치료용 기구의 형태가 서로 일치하지 않으므로 만곡근관의 경우 이상적인 근관성형이 불가능하다. 따라서 이러한 시술상의 문제를 감소시키고 효과적인 근관성형을 위하여 step-back 법²⁾, anti-curvature 법³⁾, crown-down-pressurless 법⁴⁾, balanced force 법⁵⁾ 등이 소개되어 왔다. 그러나 이러한 근관성형 방법은 그 치료과정이 복잡하고 숙련되기까지 많은 노력과 시간이 필요하며, 유연성과 경사도가 적은 stainless steel 파일로는 충전에 적합한 근관 형태나 경사도를 얻기가 어렵다. 따라서 tip 이나 삭제날 및 소재의 변형을 통한 새로운 파일의 개발이 계속되어 왔으며 이런 시점에서 높은 유연성과 파절 저항성⁶⁾ 등의 장점을 지니고 있는 NiTi alloy가 근관치료용 파일에 도입되면서 만곡 근관에서의 임상적 활용도가 점차 증가하고 있다.

그러나 초기에 사용된 .02 taper Ni-Ti 파일의 문제점^{7,8)}들이 지적되면서 경사도(taper)를 증가시킨 .04, .06 taper 파일들이 등장하였고 최근에는 .06 taper 이상의 경사도를 갖는 GT 파일 등이 소개되었다. 그러나 근관성형 과정에서 이러한 경사도의 차이가 치근단 변위에 어떠한 영향을 미치는지 혹은 성형된 근관의 내면이 충전하기에 적합한 3차원적인 형태를 갖는지에 관한 연구보고는 아직 미미한 실정이다.

따라서 본 연구는 일정한 만곡도를 갖는 30개의 투명하 레진근관 모형상에서 파일 경사도의 차이에 따른 근관성형

의 효율성을 평가하기 위하여 .06 이상의 taper를 갖는 GT 파일과 .04 taper ProFile을 병행한 군과 .04 taper ProFile만을 사용한 군 및 대조군으로 .02 taper를 갖는 Naviflex 파일을 사용한 후 근관성형 전후의 레진 모형사진을 컴퓨터 상에서 중첩하여 얻은 복합상을 토대로 치근단 변위의 빈도를 측정하였고, 면적을 계산할 수 있는 프로그램인 Brain C와 디지털라이저(SummaSketch[®] III)를 이용하여 치경부 2/3의 근관 삭제량을 측정하여 각 파일의 상대적인 삭제효율성을 비교하였으며, 최종적으로 인상재를 이용하여 3차원적인 근관 내면의 형태를 인기한 후 다소의 지견을 얻었기에 이에 보고하는 바이다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

만곡된 자연치의 근관을 대신하여, Schneider 방법⁹⁾에 의해 측정된 술전 만곡도의 내각이 평균 40°이고 만곡 전의 직선길이가 8mm이며 전체 근관장이 14mm인 레진모형(Endo block, Maillefer, Dentsply, Switzerland)을 각 군당 10개씩 배정하고, GT(Dentsply, Maillefer, Switzerland), ISO-sized .04 taper ProFile(Dentsply, Maillefer, Switzerland) 및 .02 taper Naviflex(Brasseler Co, U.S.A.)파일을 사용하여 근관성형하였다(Fig. 1).

엔진구동형 파일의 속도를 일정하게 유지하기 위해 Nm uP-1500 motor(Nouvag Co., Switzerland)와 16 : 1의

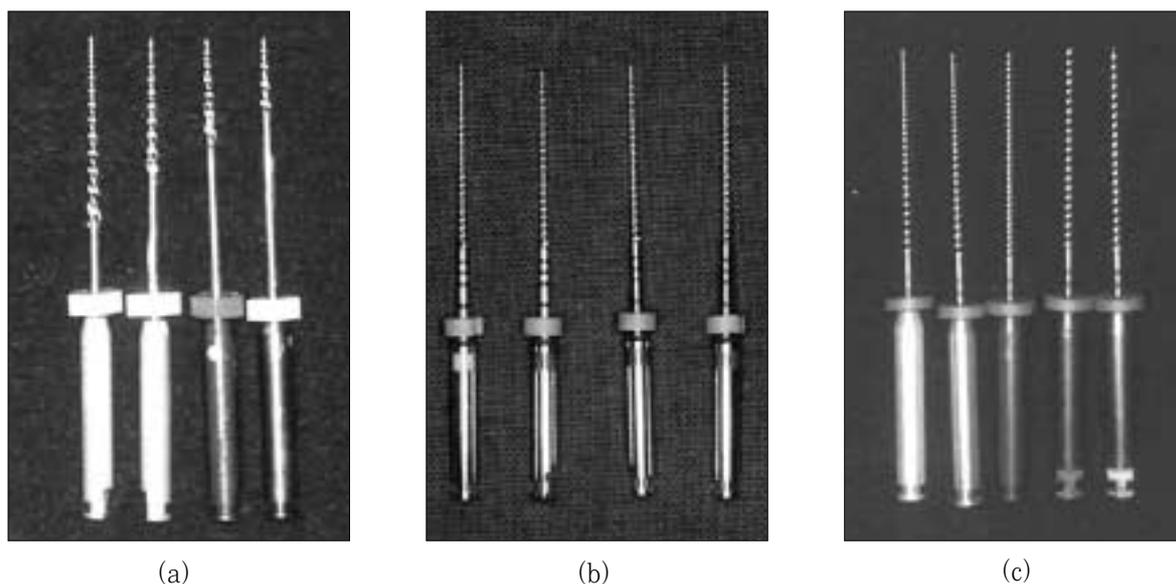


Fig. 1. 실험에 사용된 엔진구동용 니켈-타이타늄 파일 system. 좌로부터 GT 파일(a), ISO-sized .04 taper ProFile(b), Naviflex 파일(c).

감속기어가 장착된 handpiece에 각 파일을 연결하고 제조 회사에서 추천하는 엔진구동 속도를 사용하여 주치근단 파일이 #45 크기가 되도록 crown-down 성형법을 이용하여 근관성형 하였다. 매 기구의 사용 직후에는 근단공이 막히지 않도록 물을 이용하여 충분히 세척하였고 수동형 K-flex file(Dentsply, Maillefer, Switzerland)을 이용하여 근단부 재확인 과정을 반복하였다.

2. 연구방법

1) Preparation of simulated resin canals

a) GT with .04 taper ProFile group

#15 K-flex file을 이용하여 근관장을 측정하고, Nm uP-1500 motor (Nouvag Co., SWISS)에 연결된 handpiece에 GT (Dentsply, Maillefer, Switzerland)를 연결하여 150rpm의 엔진속도로 근단방향으로 최소한의 압력을 주면서 .12, .10, .08, .06 taper 순으로 crown-down technique을 사용하여 근관의 상층부를 확대한 다음, 치근단 성형을 위하여 ISO-sized .04 taper ProFile (Dentsply, Maillefer, Switzerland) 파일을 340rpm의 일정한 속도에 #20, #25, #30, #35, #40, #45번 순서로 근단부를 확대하였다. 근관성형이 완료된 레진모형은 paper point를 이용하여 건조시킨 후 #45 K-file을 이용하여 apical clearing을 시행하였다.

b) .04 taper ProFile group

.04 taper ProFile을 340rpm의 일정한 속도에 맞추어 #25, #30, #20 순으로 근관장의 3/4 부위까지 crown-down 법으로 확대한 후, 다시 치근단 확대를 위하여 #20, #25, #30, #35, #40, #45 순으로 확대하였다. 매 파일마다 물을 이용하여 근관을 충분히 세척하고 recapitulation을 시행하였으며, 근관성형이 완료된 레진모형은 paper point를 이용하여 건조시킨 후 #45 K-file을 이용하여 apical clearing을 시행하였다.

c) .02 taper Naviflex group

#15 K-flex file을 이용하여 근관장을 결정한 후 동일한 엔진 모터에 Naviflex 파일을 장착하고 #35, #40, #45 file을 순차적으로 근관의 straight portion(8mm)까지 in and out motion으로 280rpm의 일정한 속도로 확대하였다. 다시 같은 크기의 파일과 엔진 구동속도로 근관장의 3/4 길이만큼 확대한 다음 #20, #25, #30, #35, #40, #45순으로 근관장까지 근관성형 하였다. 매 파일마다 물을 이용하여 근관을 충분히 세척하고 recapitulation을 시행하였으며, 근관성형이 완료된 레진 블럭은 paper point를 이용하여 건조시킨 후 #45 K-file을 이용하여 apical clear-

ing을 시행하였다.

2) Measurement techniques

a) 치근단 변위의 평가

근관성형 전후의 근관의 변위 정도를 평가하기 위하여 레진 모형상에 미리 3개의 orientation holes을 형성하고 일정한 촬영위치가 되도록 고정장치를 만들어 레진 모형을 위치시킨 후, 105mm microlens가 장착된 Nikon 801-F(Nikon, JAPAN)를 이용하여 먼저 근관성형 전의 레진 모형을 사진촬영하고 5배로 확대하여 사진으로 인화하였다.

각 군의 protocol에 따라 근관성형 후 레진 모형내에 methylene blue를 넣어 사진을 촬영하고 동일한 비율로 인화한 사진을 Scanjet 4C(Hewlett-Packard, Sunnyvale, CA)로 영상 채득한 후 Corel Photopaint 8.0을 사용하여 3개의 orientation holes을 컴퓨터 상에서 겹쳐 얻은 복합상을 토대로 zip, elbow, ledge, perforation 등의 빈도를 조사하였다.

b) 성형된 근관 내면 형태의 3차원적인 평가

근관 내면의 3차원적인 형태변화를 평가하기 위하여 근관성형이 완료된 레진 모형내에 분리체를 도포하고 light-body Vinyl Polysiloxane 인상재를 서서히 주입하면서 가는 barbed broach를 인상재의 상부에 천천히 밀어 넣어 경화된 인상재가 쉽게 제거할 수 있도록 만든 후 이를 분리하여 Multi-use magnifier lamp (5X, Sea Ki, JAPAN) 하에서 아래의 기준에 따라 근관형태를 평가하였다.

1. Flow : orifice부터 apical stop까지 근관이 연속적으로 blending이 이루어졌으면 good, ledge가 생겼거나 만곡 방향의 갑작스런 변경이 있으면 poor로 평가.
2. Taper : 전 근관이 conical 형태인 경우는 good, hour-glass나 cylindrical 형태인 경우는 poor로 평가

c) 근관 삭제량의 간접평가

폐곡선 내부의 면적을 계산할 수 있는 컴퓨터 프로그램인 Brain C와 디지털타이저(SummaSketch[®] III)를 이용하여 근관성형 전후의 레진 모형상을 중첩하여 얻은 복합상을 토대로 coronal 2/3 부위의 근관의 삭제된 면적을 계산하여 각 파일의 근관삭제의 효율성을 간접적으로 비교평가하였다.

3. 통계처리

각 군의 근관변위의 빈도에 대한 평가는 비모수 통계분석법인 Kruskal-Wallis test를 시행하여 유의성을 검증하였으며, 근관 삭제량에 관한 평가는 ANOVA 검정법을 이용

하여 분석하였다.

Ⅲ. 실험성적

1. 치근단 변위의 빈도평가

각 군간의 근관변위의 빈도를 평가하기 위한 변수 가운데 zipping(elbow)의 빈도는 Naviflex군이 가장 높았으며 (Table 1, P<.05), 기구파절 및 치근천공도 각각 1례가 발생하였다. 그러나 zipping을 제외한 나머지 변수는 3군 사이에는 통계학적 유의성은 보이지 않았다.

3. 근관 삭제량의 간접평가

각 군간의 coronal 2/3 부위의 근관 삭제량을 측정된 결과, Naviflex 군의 삭제량이 가장 적었고, GT 파일군에서 통계학적으로 유의성있는 많은 삭제량을 보여 주었다 (Table 2, P<.05).

3. 성형된 근관 내부의 3차원적인 평가

근관성형 후 근관내면의 인상을 채득한 결과 경사도가 큰 GT 파일군은 근관의 taper, flow 등이 양호하게 형성되었으나, .02 taper Naviflex 군의 경우는 모든 평가항목에서 가장 불량한 것으로 관찰되었다(Table 3).

Table 1. Incidence of canal aberrations in the instrumentation groups

근관변위 변수	Instrumentation type (N=10개/group)			P-Values
	GT file with .04 taper ProFile	.04 taper ProFile	.02 taper Naviflex	
Zip (Elbow)	2	3	6 **	P<.05
Ledge	1	2	2	NS*
Perforation	0	0	1	NS*
File fracture	0	0	1	NS*

** Statistically significant by Kruskal-Wallis Test(P<.05)

* NS; not-significant

Table 2. The mean removed area in the coronal 2/3 of canal after instrumentation(mm²)

Group	GT file with .04 taper ProFile	.04 taper ProFile	.02 taper Naviflex
Reduction area (Mean±SD)	15.82±1.21 **	12.55±1.86	11.26±2.01

** Statistically significant (P< 0.05) by ANOVA

Table 3. Assessment of canal form by instrumentation type

Criteria	GT file with .04 taper ProFile	.04 taper ProFile	.02 taper Naviflex
<i>Flow</i>			
good	8	7	3
poor	2	3	6
<i>Taper</i>			
good	8	6	3
poor	2	3	6

** Naviflex 군의 1 예서 기구파절

IV. 총괄 및 고찰

최근 유연성과 파절저항성 등의 장점을 지닌 니켈-타이타늄 엔진 파일이 등장하면서 만곡근관에서 근관성형의 효율성은 상당히 개선되었지만 그 결과가 일률적이지 못하였고¹⁰⁾, 또한 파일의 경사도 차이에 따른 근관 내면의 형태변화나 치근단 변위에 미치는 영향에 관한 연구보고는 미미한 실정이다.

이에 본 연구는 만곡근관을 재현한 레진 모형상에서 근관 변위의 빈도, canal form의 형태변화 및 삭제된 근관 면적을 측정하여 경사도의 차이에 따른 각 파일의 상대적인 삭제 효율성을 평가하기 위하여 .06 taper 이상의 GT 파일과 ISO-sized .04 taper ProFile 을 조합한 실험군과, .04 taper ProFile 만을 사용한 군 및 대조군으로 .02 taper를 갖는 Naviflex 파일을 사용하여 실험을 진행하였다.

니켈-타이타늄 파일을 이용한 기존의 대부분의 연구는 주 치근단 파일을 #35 크기로 한정하여 근첨부의 변위(canal transportation)를 평가한 것으로 Southard¹¹⁾, Haga¹²⁾ 등은 #45 크기 이하로는 근관내 피사조직을 효과적으로 제거할 수 없음을 주장하였다. 따라서 본 실험에서는 각 파일 system의 어떤 크기부터 치근단 변위가 야기되는지를 알아보고, 또한 삭제량이 클 경우 근관성형 전후의 형태변화에 대한 비교평가도 용이하다는 전제하에, 주치근단 파일의 크기를 #45로 결정하여 실험을 진행하였다.

본 연구에서 근관성형 후 치근단부의 근관변위 빈도를 측

정해 본 결과 Naviflex 군에서 zipping 의 빈도는 유의성 있게 높게 관찰되었고, #35 크기부터 근관 내에서 저항감을 많이 느꼈으며, 치근 천공(Fig. 2) 및 기구 파절도 각각 1에 발생하였다. 이는 파일의 형태가 재래식 SS 파일과 같이 .02 taper를 갖기 때문에 파일의 삭제날이 전 근관벽을 따라 surface contact을 이루어 무리한 힘을 주어 삭제하려는 경향이 있고, 기구의 크기가 증가함에 따라 치경부에서는 만곡의 내측방향으로 근단부에서는 만곡의 바깥쪽이 삭제되는 hour-glass 형태의 근관삭제가 일어나 치근단 변위가 일어난 것으로 생각되며 또한 파일의 flute angle 자체가 삭제된 잔사를 치경부 쪽으로 용이하게 빠져나오지 못하게 설계되어 있어 근첨부위에 쌓이면서 근관의 변위나 기구파일이 나타난 것이라 보여진다.

따라서 만곡이 심한 근관에서 Naviflex system의 경우는 치경부를 충분히 삭제하여 만곡을 줄이면서 #35 이하의 주 치근단 파일을 사용하는 것이 치근단 변위를 감소시킬 수 있는 효과적인 근관성형법이 되리라 사료된다.

한편 본 실험에서 사용된 GT 파일은 Buchannon이 개발한 파일로 #20 tip size에 .06, .08, .10, .12의 4가지 taper로 구성되어 있고, U자 형태의 단면과 non-cutting "safe" tip을 가지며 150rpm의 저속으로 치경부의 삭제를 위해 사용된다. 본 연구결과 GT 파일군의 1례에서 ledge가 형성되었는데(Fig. 3), 이는 GT file 사용시 치근단 방향으로 과도한 힘을 주면서 만곡부를 삭제하였기 때문으로 사료되며, 따라서 GT file의 경우 어떤 taper를 어느 정도



Fig. 2. #35 Naviflex 파일에 의해 천공을 보이는 모형근관(화살표)



Fig. 3. GT 파일을 근첨방향으로 과도한 힘을 주어 사용함으로써 ledge가 형성된 모형근관 (P: primary, S: secondary ledge)

의 깊이까지 넣는지, 어느 정도의 힘으로 삭제하는지에 따라 근관성형의 형태에 영향을 줄 수 있으므로 작동시 비교적 가벼운 힘으로 잡고 위아래로 반복하는 동작(pecking motion)으로 파일을 사용해야 한다.

.04 taper ProFile 파일은 기존의 Profile Series 29 (Tulsa Dental, U.S.A.)와 그 사용법은 동일하지만 파일의 tip size를 ISO 크기로 표준화한 것으로, 이론적으로는 #5 크기까지는 Profile Series 29 파일의 직경이 더 적어 근관 변위도 적을 것으로 추측되지만, .04 taper ProFile이 오히려 삭제날의 "roll-over" 현상이 없고 근관성형의 결과도 더 우수한 것으로 알려져¹³⁾ 본 실험은 표준형 tip을 갖는 .04 taper ProFile을 사용하였다. 본 연구결과 .04 taper ProFile의 경우는 3레에서 zipping이 발생하였고, #35 크기 이후부터 근관 내에서 파일의 저항감이 많이 느껴졌다. 따라서 만곡이 심한 근관에서는 .04 taper ProFile은 주치근단 파일이 #35 크기를 넘지 않도록 사용하는 것이 추천된다.

일반적으로 근관성형 전후의 근관의 형태변화를 연구하는 방법으로는 전자현미경 관찰법¹⁴⁾, serial section 법¹⁵⁾, 확대된 근관의 인상 채득법¹⁶⁾, 전산화 단층 촬영법¹⁷⁾ 등이 있다. 본 실험에서도 삭제된 근관의 3차원적인 내면 형태를 비교하기 위해 인상 채득법을 이용하였는데, GT 파일 군은 파일 자체의 경사도가 크기 때문에 성형된 근관의 taper와 flow 가 모두 우수한 것으로 관찰되었다. 반면에 Naviflex 군의 경우는 모든 평가항목에서 가장 좋지 않은 결과를 보였는데 이러한 이유로 파일자체의 design 과 연관이 있으리라 추측된다. 또한 본 연구에서 근관성형 전후의 근관 삭제량을 비교한 결과 다양한 경사도를 갖는 GT 파일 군에서 치경부 2/3 부위의 삭제량이 유의성 있게 더 많았으며 이는 어느 정도 예상된 결과와 일치하였다. 물론 근관이 어느 정도 삭제되어야 할 것인지는 일률적인 기준은 없지만 근관 세척의 효율성을 증가시키고 근관 충전을 위한 spreader의 삽입이 용이하도록 충분히 확대되어야 하며, 만곡이 심한 근관에서 근침부의 적절한 성형을 위해서는 치경부의 삭제 과정이 필수적이라고 생각된다.

Walton 등¹⁸⁾은 보다 우수한 충전을 얻고 효과적인 근관 세척을 위해 만곡 근관은 충분히 확대되어야 한다고 주장하였는데 이런 관점에서 경사도를 증가시킨 치경부 삭제용 파일을 사용하는 crown-down 성형법은 만곡 근관에서 치근단 변위의 빈도를 줄이고 충전에 용이한 근관 형태를 얻을 수 있으며, 기존의 Gates-Glidden bur를 사용하여 치경부를 확대하는 경우에 발생할 수 있는 과도한 치질 삭제나 strip perforation과 같은 부작용을 줄일 수 있어 보다 안전한 근관성형법이 될 수 있을 것으로 생각된다.

한편 본 실험에서 근관의 형태변화를 관찰하기 위해 사용한 레진 모형은 근관의 크기, 형태 및 만곡도를 표준화할 수

있어 서로 다른 파일의 근관성형 능력을 측정하기는 용이하였으나, 근침부위의 레진이 자연치보다 두껍기 때문에 ledge가 발생하더라도 이것으로 인해 치근 천공을 관찰하기 어렵고, 치질과 마찰 저항이 달라 정확한 기구 파절의 시점을 알 수 없었으며, 형성되는 잔사의 양도 더 많이 생겨 근관내에 축적되기 쉬운 단점이 있었다. 따라서 향후 자연치에서의 비교연구도 추가되어야 할 것으로 생각한다.

결론적으로 엔진 구동형 니켈-타이타늄 파일은 다양한 경사도를 갖는 치경부 삭제용 파일의 장점을 조합해서 사용함으로써 만곡이 심한 근관에서 기존의 엔진파일의 한계점으로 부각되었던 근관 변위의 빈도를 줄일 수 있고 충전에 적합한 3차원적인 근관 형태를 얻을 수 있어 근관치료의 성공률을 높일수 있는 효과적인 근관성형법이 되리라 생각된다. 그러나 만곡근관에서 경사도가 큰 파일의 경우는 보다 주의 깊은 사용이 요하며 향후 자연치에서의 비교연구도 추가되어야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구는 만곡근관에서 파일의 경사도의 변화에 따른 근관성형의 상대적인 효율성을 평가하기 위해 경사도가 다른 세 가지 파일로 일정한 만곡도(40°)를 갖는 30개의 투명한 레진 모형 근관상에서 주치근단파일이 #45 크기가 되도록 근관성형 후 치근단 변위의 빈도를 비교하였고 근관성형 전후의 레진 모형상의 근관형태의 변화를 IBM 컴퓨터와 영상처리 소프트웨어 프로그램인 Corel Photopaint 8.0을 이용하여 얻은 복합상을 토대로 삭제된 근관의 면적변화량을 계산할 수 있는 프로그램인 Brain C와 디지털라이저(SumaSketch[®] III)를 이용하여 각 파일의 상대적인 삭제효율성을 평가하였으며, 최종적으로 성형된 근관 내면을 인상 채득하여 3차원적으로 근관 내면의 형태변화를 분석한 후 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 치근단 변위의 조사에서 zipping의 발생빈도가 Naviflex 군에서 유의성 있게 높게 관찰되었다(P<.05).
 2. 치경부 2/3 부위의 근관 삭제량의 간접평가에서는 GT 파일을 사용한 군이 유의성 있게 높은 삭제량을 보여주었다(P<.05).
 3. 삭제된 근관 내면의 인상채득 결과, GT 군에서 근관의 flow, taper가 가장 우수하였다.
- 레진 모형 근관에서 근관 변위의 빈도, 근관 내면의 3차원적인 형태분석, 치경부의 근관 삭제량의 비교결과 경사도가 큰 파일을 병행하여 사용하는 근관성형법이 충전에 보다 적합한 근관 형태를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Schilder H.: Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am*, 1974;18:269-296.
2. Weine F, Kelly R, Lio P.: The effect of preparation procedures on the original canal shape and on apical foramen shape. *J Endodon*, 1975;1:255-62.
3. Abou-Rass M, Frank A, Glick D.: The anti-curvature filing method to prepare the curved canals. *J.A.D.A.*, 101:792-794, 1980.
4. Morgan CF, Montgomery S.: An evaluation of the crown-down pressureless technique. *J Endodon*, 1984;12:491-498.
5. Roane J, Sabala C, Dumcanson M.: The "Balanced force" concept for instrumentation of curved canals. *J Endodon*, 1985;11:203-211.
6. Walia H, Brentley W, Gerstein H.: An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endodon*, 1988;14:346-50.
7. Zmener O, Banegas G.: Comparison of three instrumentation techniques in the preparation of simulated curved root canals. *Int Endod J*, 1996;29:315-319.
8. Campos JM, del Rio C.: Comparison of mechanical and standard hand instrumentation techniques in curved root canals. *J Endodon*, 1990;16:230-234.
9. Schneider SW. : A comparison of canal preparation in straight and curved canals *Oral Surg*, 1971;32:271-275.
10. Cimis GM, Boyer TJ.: Effect of three file types on the apical preparations of moderately curved canals. *J Endodon*, 1988;14:441-444.
11. Southard DW, Oswald RJ, Natkin E.: Instrumentation of curved root canals with the Roane technique. *J Endodon*, 1987;13:479-89.
12. Haga CS.: Microscopic measurements of root canal preparations following instruments. *J Br Endo Soc*, 1968;2:41-46.
13. Bryant ST, Thompson SA, Al-omary MA, Dummer PM.: Shaping ability of ProFile rotary nickel-titanium instruments with ISO-sized tips in simulated root canals: Part 1. *Int Endod J*, 1998;31:275-281.
14. Mizrahi SJ, Tucker JW, Seltzer S.: A scanning electron microscopic study of the efficacy of various endodontic instruments. *J Endodon*, 1975;1:323-0333.
15. Bramante CM, Berbert A, Borges RP.: A methodology for evaluation of root canal instrumentation. *J Endodon*, 1987;13:243-245.
16. Bryant ST, Thompson SA, Al-omary MA, Dummer PM.: Shaping ability of ProFile rotary nickel-titanium instruments with ISO-sized tips in simulated root canals: Part 2. *Int Endod J*, 1998;31:282-289.
17. Tachibana H, Matsumoto KH.: Applicability of x-ray computerized tomography in endodontics. *Endod Dent Traumatol*, 1990;6:16-20.
18. Walton RE.: Histologic evaluation of different methods of enlarging the pulp canal space. *J Endodon*, 1976;2:304-311.