

수동과 엔진구동형 기구를 이용한 난원형 근관의 형성에 관한 주사전자현미경적 관찰

송 옥* · 허 복 · 이희주
부산대학교 치과대학 보존학교실

ABSTRACT

A SEM OBSERVATION ON THE EFFICIENCY PREPARATION OF OVAL CANALS USING HAND AND ENGINE-DRIVEN INSTRUMENTS

Uk Song *, Bock Hur, Hee-Joo Lee

Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Pusan National University

The purpose of this study was to evaluate the efficiency of the preparation of oval canals using hand and engine-driven instruments with SEM observation. Thirty single-rooted teeth with oval canal were used in this study. The teeth were divided into 3 groups. In group A, the teeth were instrumented up to a size 35 K-file using RC-prep and irrigated with 5% NaOCl between each file size. In group B, the teeth were instrumented with Profile according to the manufacture's instructions using RC-Prep and irrigated with 5% NaOCl between each file size. In group C, the teeth were instrumented with GT file according to the manufacture's instructions using RC-prep and irrigated with 5% NaOCl between each file size. Then, in all teeth, a final flush of 5ml of distilled water delivered for 30s. Canals were dried with sterile standardized paper points. After preparing the canals, the teeth were sectioned along their mesial and distal surfaces by using low-speed diamond disc, chisel and mallet. Each root section was then dehydrated in graded concentration of alcohol (70, 80, 90, 100%), mounted on an aluminum stub, sputter-coated with gold-palladium and observed with scanning electron microscope (HITACHI S-4200) in middle and apical area.

The results of this study were as follows:

1. In the middle area, group B and group C showed less smear layer than group A, and it was statistically significant ($p < 0.05$).
2. In the middle area, group B showed greater smear layer than group C, but it was not statistically significant ($p > 0.05$).
3. In the apical area, group C showed less smear layer than group A, and it was statistically significant ($p < 0.05$).
4. In the apical area, group A showed greater smear layer than group B, but it was not statistically significant ($p > 0.05$).
5. In the apical area, group B showed greater smear layer than group C, but it was not statistically significant ($p > 0.05$).
6. In all groups, the middle area was less smear layer than the apical area, and it was statistically significant ($p < 0.05$). [J Kor Acad Cons Dent 29(2):141-146, 2004]

Key words : Oval canal, Canal preparation, Smear layer, SEM

Corresponding author: **Uk Song**

Department of Conservative Dentistry,
College of Dentistry, Pusan National University
1-10, Ami-dong, Seo-gu, Pusan, 602-739, Korea
Tel : 82-51-240-7454
E-mail : uksong@freechal.com

I. 서 론

근관치료의 과정중 성형과 세정과정은 근관내의 조직 잔사와 세균과 같은 모든 내용물을 제거하고 미세누출이 생기지 않도록 성공적으로 근관충전을 할 수 있는 형태로 만드는 과정이다.

근관형성은 전통적으로 수동형 기구 (stainless-steel file)를 사용해서 시행되어 왔으며, 1988년에 Ni-Ti endodontic file이 처음 소개된 후 Ni-Ti file과 엔진구동형 핸드피스를 사용한 방법의 장점이 알려지면서 최근에 널리 사용되고 있으며 대부분의 연구에서, 수동형 기구를 사용하는 것보다 Ni-Ti file과 엔진구동형 핸드피스를 사용하면 더 빠르고 쉽게 근관형성을 할 수 있다고 보고하였다¹⁾.

한편 Wu 등의 보고에 의하면, 난원형 근관이란 “근관을 절단해서 볼 때 협설방향의 근관폭과 근원심방향의 근관폭의 비가 2 이상인 것”이라고 정의하였고, 인간치아의 치근단부에서 난원형 근관의 비율이 50%라고 보고하였다²⁾.

최근의 연구에 의하면 난원형 근관의 빈도가 높은 것으로 알려졌다. 하악대구치 원심근관의 56%와 하악전치의 30%가 치근단에서 5mm 떨어진 지점에서 근관은 원형에서 벗어나 난원형에 가깝다고 보고되었다³⁾.

해부학적 형태와 file의 디자인 때문에 난원형 근관에서는 완벽한 근관형성을 하기가 어렵다고 알려져 왔다^{4,5)}. 특히 엔진구동형 Ni-Ti file은 작용부위가 제한되고 그들의 초탄성 (superelasticity)성질 때문에 근관형성시 근관벽에 힘이 덜 가해지는 것으로 알려져 있다. 실험에 의하면 납작한 모양의 근관에서 수동형 기구와 엔진구동형 기구의 근관형성 효율성을 비교했을 때 수동형기구가 더 우수한 잔사제거 능력을 가진다고 보고하였다⁶⁾.

그러나 위 실험은 엔진구동형 기구사용시 추천되는 RC-prep, 차아염소산나트륨용액 등의 근관세척제를 사용하지 않았고, 엔진구동형 기구의 circumferential filing에 대한 언급이 없으므로 수동형 기구와 엔진구동형 기구의 난원형 근관형성의 효율성에 대한 평가로서는 미흡하다고 할 수 있다.

이에 본 실험에서는 난원형 근관을 가진 발거된 치아에서 수동형 기구와 엔진구동형기구를 차아염소산용액, RC-prep과 같은 근관세척제를 혼용해서 circumferential filing method로 근관을 형성하고 근관에서 도말층이 제거되는 효율성을 비교하기 위해서 주사전자현미경 (Scanning Electron Microscope, SEM)을 사용하여 근관을 관찰하고자 하였다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

근단공이 완성된 치아 중 근원심측방향과 협설측방향으로 각각 방사선사진을 찍은 후 치근첨에서 5mm 떨어진 지점의 협설방향의 근관폭과 근원심방향의 근관폭의 비가 2이상인 치아 30개를 선택하여 10개씩 3군으로 나누었다.

A군은 수동형 기구 (K file(Mani, Nakakutsu, Japan))

Table 1. Classification of groups

Group	Numbers of teeth	Method
A	10	hand file + 5% NaOCl + RC-prep
B	10	Profile + 5% NaOCl + RC-prep
C	10	GT file + 5% NaOCl + RC-prep

를 사용해서 근관형성 하였고, B군은 Profile (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Switzerland), C군은 GT file (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Switzerland)을 사용해서 근관형성하였다 (Table 1).

이때 근관세척제와 윤활제에 의한 근관청결효과를 배제하고 근관벽의 삭제에 사용한 기구의 근관청결효과만을 비교하기 위하여 각 군의 근관세정은 RC-prep과 5% 차아염소산나트륨용액의 혼합사용으로 통일시켰다. 모든 치아에서 최종세척 후 세척제의 작용을 중화시키기 위해서 증류수 5ml를 30초간 적용하였다.

2. 실험방법

1) 근관형성

모든 치아는 low-speed diamond disc (Isomet, Buehler, Ltd, U.S.A)를 이용하여 치관부를 제거하였다. 15번 K file로 근첨이 천공되는 길이에서 0.5mm를 줄인 곳까지를 작업장으로 정하고 근관형성하였다.

A군은 수동형 K-file을 이용해서 step-back 방식으로 #35까지 근단부 확대를 시행하였다. B군은 TR-ZX (Tri Auto ZX, Morita, Japan)과 Profile을 이용해서 crown-down 방식으로, OS 2 file, #20의 taper .10, .08, .06을 순차적으로 사용한 후에 마지막으로 #20의 .08 taper를 작업장까지 넣어 근관형성하였다. C군은 TR-ZX와 GT file을 이용해서 crown-down 방식으로, standard series의 accessory 1 file (#35, .12taper), #20의 taper .10, .08, .06을 순차적으로 사용한 후에 마지막으로 #20의 .08 taper를 작업장까지 넣어 근관형성하였다. 모든 군에서 근관형성의 각 단계마다 기구에 RC-prep을 묻혀서 근관형성 하였고, 각 단계의 근관형성후에는 5% 차아염소산나트륨 용액을 사용해서 세척하였다. 근관형성을 마친 후 세척액의 중화를 위해서 5ml 증류수를 30초간 적용하였다. 그리고 모든 치아에 페이퍼 포인트를 삽입해서 근관을 건조시켰다.

2) 시편제작

주사전자현미경 관찰을 위해서 모든 치아는 근관 입구를 솜으로 막고 low-speed diamond disc (Isomet, Buehler, Ltd, U.S.A)를 이용해서 치아를 근원심측에서 치아장측방

향으로 groove를 형성한 후 chisel과 망치를 이용해서 반으로 절단하였다.

주사전자현미경관찰을 위해서 절단된 치아를 70%, 80%, 90%, 100% ethyl alcohol에 차례대로 담구어 탈수시켰다.

3) 주사전자현미경관찰

탈수시킨 시편은 주사전자현미경 (SEM) 관찰을 위해 aluminum stub에 고정시킨 후 gold-palladium으로 표면처리하였다. 처리된 시편을 HITACHI S-4200 (Tokyo, Japan)을 사용해서 각 시편의 치근중앙부와 치근단 부위를 800배 확대야에서 관찰하였다.

4) 평가

관찰한 결과는 Gutmann의 방법에 따라 다음과 같이 분류하였고⁸⁾, ANOVA procedure와 Duncan's Multiple Range test를 사용해서 평가하였다.

score 1 - 25%이하의 도말층이 관찰되는 시편 : 대부분

의 상아세관이 보이고 개통되어 있다 (Figure 1).

score 2 - 25%에서 50%의 도말층이 관찰되는 시편 : 많

은 상아세관이 보이고 개통되어 있다 (Figure 2).

score 3 - 50%에서 75%의 산재된 많은 양의 도말층이

관찰되는 시편 : 보이거나 개통된 상아세관이 없거나 최소이다 (Figure 3).

score 4 - 75%이상의 두꺼운 도말층이 관찰되는 시편 :

상아세관 개구부가 보이지 않는다 (Figure 4).

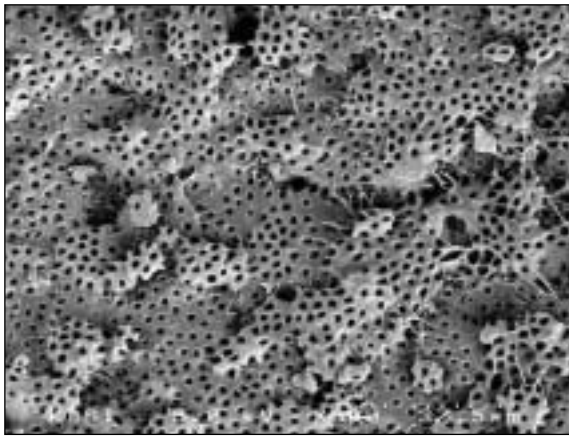


Figure 1. Score 1

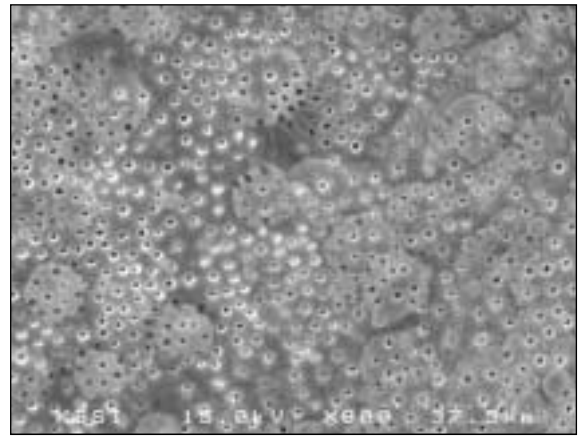


Figure 2. Score 2

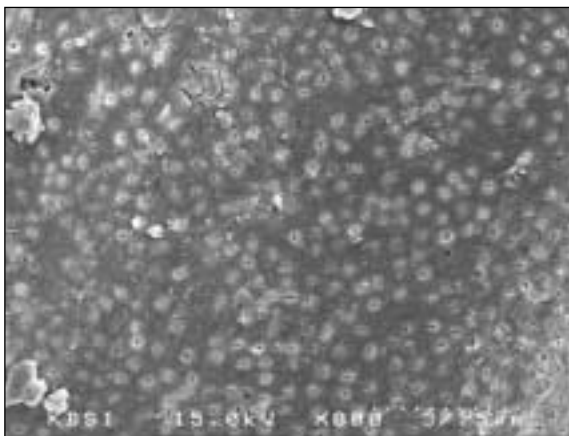


Figure 3. Score 3

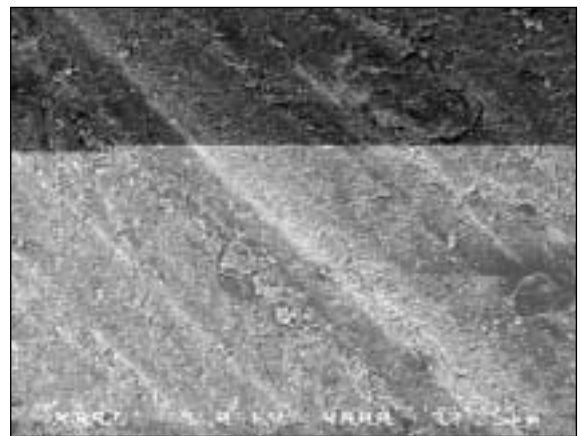


Figure 4. Score 4

Table 2. Score in middle area

Score	1	2	3	4	mean (\pm SD)
group A	1	2	2	5	3.1 (\pm 1.1)
group B	4	2	3	1	2.1 (\pm 1.1)
group C	6	2	2	0	1.6 (\pm 0.8)

Ⅲ. 연구결과

치근중앙부에서의 도말층 제거양상은 Table 2와 같다.

치근중앙부에서는, C군에서 score 4는 없었고, score 1이 6개로 가장 우수한 결과를 보였고, A 군에서는 score 4가 5개, score 1이 1개로 가장 불량한 결과를 보였으며 B군과 C군은 유의한 차이가 없었고, A군과 B, C군을 비교했을 때 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$).

치근단부에서의 도말층 제거양상은 Table 3과 같다.

치근단부에서는, C군에서 score 4는 없었고, score 1이 3개로 가장 우수한 결과를 보였고, A군에서 score 4가 7개, score 1이 없는 가장 불량한 결과를 보였으며, A군과 B군 간에 그리고 B군과 C군 간에는 유의한 차이가 없었으나 그러나 A군과 C군을 비교했을 때는 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$).

각 군별로 치근중앙부와 치근단부를 비교했을 때, 모든 군에서 치근중앙부위가 치근단부위보다 더 우수한 결과를 보였고, 모든 군에서 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$).

Ⅳ. 총괄 및 고찰

근관치료의 성공을 위해서는 성공적인 근관형성이 선행되어야 한다. 성공적인 근관형성의 최신 개념은 “근관계내의 모든 내용물 (감염물질, 항원물질, 유기물, 미생물군, 세균 부산물 등)을 제거한다”는 것을 의미한다⁹⁾. 따라서 성공적인 근관형성을 위해서는 물리적으로 기구를 사용하여 제거하는 과정과 제거된 물질을 부유화 시키는 세척 및 기구가 접근되지 않는 곳의 치수내용물을 용해하기 위하여 화학제를 사용하는 것을 포함한다.

물리적인 근관형성과정은 수동형기구, 엔진구동형기구 또는 초음파기구 등에 의해 시행된다. 이런 물리적인 근관형성시, 기구조작에 의해 근관벽에는 도말층이 형성되게 되는데 이것은 기구조작 후 근관벽에 존재하는 유기물과 무기물의 잔사이며^{10,11)} 전자현미경으로 관찰시 무정형의 불규칙한 파립상이다¹²⁾. 도말층은 근관내벽의 상아질 표면에 위치하거나 상아세관 안으로 밀려들어 smear plug를 형성하기도 한다. 도말층 잔사의 상아세관으로 유입되는 기전은 유체역학과 모세관현상이 원인으로 알려져 있지만, 근관확대시 기

Table 3. Score in apical area

Score	1	2	3	4	mean (\pm SD)
group A	0	2	1	7	3.5 (\pm 0.8)
group B	3	1	2	4	2.7 (\pm 1.3)
group C	3	3	4	0	2.1 (\pm 0.8)

구사용의 결과로 결론지어진다^{13,14)}.

이 도말층의 존재여부가 근관치료에 미치는 영향에 대해서는 의견이 다양하다.

몇몇 학자들은 도말층이 상아질의 투과성을 감소시키고 세균과 내독소의 상아질 침투를 물리적으로 막는 장애물 역할을 하므로 도말층의 존재에 긍정적인 의견을 제시했다^{15,16)}. 그러나, 다른 학자들은 streptococcus가 도말층을 통과할 수 있다고 보고하였고¹⁷⁾, 도말층이 존재해도 미생물은 느리지만 상아세관을 통과할 수 있음을 증명하였다. 또한 1993년, Nissan등은 polysaccharidic endotoxin과 같은 세균 산물은 도말층이 존재해도 쉽게 상아질을 통과할 수 있음을 보고하였다¹⁸⁾. 또한 도말층이 혐기성 미생물의 서식처를 제공하게 되고, 따라서 만성적으로는 자극원이 될 수 있다고 보고한 학자도 있다¹⁹⁾.

근관충전의 관점에서 볼 때, 도말층은 호제와 가타퍼처의 상아세관내로의 접착과 침투를 방해한다. 여러 연구에서 도말층을 제거하고 충전전에 가타퍼처를 화학용매나 열로 연화시킨 후 호제를 이용하여 충전한 결과, 미세누출의 감소를 보여주었다^{20,21)}. Kennedy²²⁾와 Cergneux등은²³⁾ 근관충전물의 밀폐효과를 개선시키기 위해 도말층을 제거하는 것이 더 좋다고 주장하였다.

근관형성시 발생하는 도말층을 제거하기 위해서는 근관형성 과정마다 근관세정 과정이 필수적으로 따라야 한다. 근관세정시 사용되는 여러 근관세척제 중에서 많이 사용되는 근관세척제를 살펴보면, 생리적 식염수는 조직자극과 염증을 최소화하며 근관내 잔사를 부유시키고²⁴⁾ 윤활작용을 하지만 조직 용해 작용은 없는 것으로 알려졌다. 차아염소산나트륨용액은 가장 흔히 사용되는 세척액으로 조직잔사를 제거하고 윤활작용, 미생물의 파괴, 조직용해²⁵⁾와 같은 작용을 한다. 그러나 차아염소산나트륨용액은 무기물질의 제거에는 효과가 없는 것으로 알려져 있다.

도말층 성분중에서 무기질성분을 제거하기 위해서는 EDTA (ethylene diamine tetraacetic acid)와 같은 칼슘치환제의 사용이 추천된다. 왜냐하면 칼슘치환제는 상아질의 칼슘이온과 반응하여 soluble sodium ion으로 대체하는 기능을 하기 때문이다²⁶⁾.

따라서 효과적인 도말층제거를 위해서 칼슘치환제와 차아염소산나트륨용액의 혼합사용을 추천한다.

근관형성방법들 중 수동형 기구를 이용한 근관형성과 엔진구동형 기구를 이용한 근관형성에 관한 비교는 이전부터 있었다^{27,28)}. Bertrand와 Pizzardini의 실험들에 의하면 엔진구동형 기구를 이용한 근관형성이 전통적인 수동형 기구를 이용한 근관형성보다 우수한 도말층 제거능력과 우수한 세정능력을 보였다²⁹⁾. 많은 학자들이 도말층을 제거하는데 있어서 수동형 기구의 비효율성을 밝혔다^{24,30,31)}.

그러나 근관형성방법의 효율성을 비교한 실험은 많지만 난원형 근관에서의 비교실험은 잘 알려져 있지 않았다.

대부분의 난원형 근관은 협설방향으로 긴 모양을 보이므로 이번 실험에서는 근관형성시 기구가 잘 접촉되지 않는 협설방향의 근관내벽에서의 수동형 기구와 엔진구동형 기구의 circumferential filing 효과를 관찰하기 위해서 시편을 근원심방향에서 절단하여 주사전자현미경으로 관찰하였다.

관찰결과, 본 실험에서와 같이 차아염소산나트륨용액과 RC-prep같은 칼슘치환제를 근관세척제로 사용해서 난원형 근관을 circumferential filing하였을 경우 수동형 기구보다는 엔진구동형 기구가 더 우수한 근관내벽에서의 도말층 제거능력을 보여주었다. 이는 Bertrand와 Pizzardini²⁹⁾의 실험결과와 일치하였다.

이런 결과는, 수동형 기구와 엔진구동형 기구를 똑같이 circumferential filing method로 근관형성을 했을지라도, 근관형성후 잔사가 기구에 묻어 나오는 양이 차이가 나기 때문인 것 같다. 수동형 기구 (stainless steel K file)는 taper가 0.02이고 삭제날과 날사이의 space가 작다. 그러나 엔진구동형 기구는 taper가 0.12, 0.10, 0.08, 0.06, 0.04, 0.02 등으로 다양하고 file design면에서 볼 때 삭제날과 날 사이의 space가 수동형 기구보다 크기 때문에 근관형성시 더 많은 잔사가 기구에 묻어 나올 수 있기 때문인 것 같다. 그리고 엔진구동형 기구는 taper가 큰 기구를 사용해서 crown-down방식으로 근관형성을 하므로 수동형기구보다 근관세척제가 더 쉽게 작용해서 얻은 결과인 것 같다.

각 군에서 치근중앙부와 치근단부에서의 도말층 제거양상을 비교했을 때, 모든 군에서 치근중앙부가 치근단부 보다 더 우수한 도말층 제거를 보였고, 유의한 차이가 있었다. 이 결과는 Bertrand²⁹⁾, Peters³²⁾, Gambarini³³⁾ 등의 연구에서 얻은 결과와 일치했다.

이런 결과는 치근단부에서 근관세척제의 효과가 치근중앙부에 제한적임을 의미한다고 생각해 볼 수 있다. 이 같이 근단부가 근관세척제의 효과가 적은 이유는 치근단 부위의 세척제의 도달이 어렵고, 치근단 확대가 시행되었을지라도 치근중앙부 보다 훨씬 좁기 때문에 needle tip이 치근단 부위까지 도달하지 못하므로 세척제의 작용이 제한되기 때문인 것 같다.

현재까지는 난원형 근관을 이상적으로 근관형성할 수 있

는 기구는 없다. 생물학적 관점에서 볼 때 근관세척제가 난원형 근관에서의 기구와 기술의 한계를 보상할 수 있을 것이다. 따라서 미래에는 난원형 근관의 근관형성에 이상적인 새로운 기구의 디자인과 기술이 개발되어야 할 것으로 생각된다.

V. 결 론

난원형 근관에서 수동형 기구와 엔진구동형 기구를 사용해서 근관형성을 했을 경우에 도말층 제거양상의 차이를 조사하기 위하여 30개의 난원형 근관을 가진 단관 치아를 3군으로 나누어 실험하였다. 근관형성 방법에 따른 차이를 평가하기 위해서 각 군의 근관세척은 5%차아염소산나트륨 용액과 RC-prep의 혼합사용으로 통일시켰으며 A군은 수동형 기구 (stainless steel K file), B군은 Profile (Dentsply), C군은 GT file (Dentsply)을 사용해서 근관형성하였다. 그리고 모든 치아는 5ml의 증류수를 30초간 적용하고 멸균된 패이퍼포인트를 사용해서 근관을 건조시켰다. 근관형성 후 모든 치아는 low-speed diamond disc를 이용해서 근원심측에서 치아장축방향으로 groove를 형성한 후 chisel과 망치를 이용해서 반으로 절단하였다. 각 시편은 70, 80, 90, 100% ethyl alcohol에 차례대로 담구어 탈수시킨 후 주사전자현미경관찰을 위해 aluminum stub에 고정시키고 gold-palladium으로 표면처리하였다. 처리된 시편은 HITACHI S-4200 (Japan)을 사용해서 각 시편의 치근중앙부와 치근단부를 800배 확대로 관찰한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 치근중앙부위의 도말층 제거 효과는 GT file 또는 Profile을 사용한 군이 hand file을 사용한 군보다 효과적이었으며 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$).
2. 치근중앙부위의 도말층 제거 효과는 GT file을 사용한 군이 Profile을 사용한 군보다 효과적이었으나 유의한 차이를 보이지 않았다 ($p > 0.05$).
3. 치근단부위의 도말층 제거 효과는 GT file을 사용한 군이 hand file을 사용한 군보다 효과적이었으며 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$).
4. 치근단부위의 도말층 제거 효과는 Profile을 사용한 군이 hand file을 사용한 군보다 효과적이었으나 유의한 차이를 보이지 않았다 ($p > 0.05$).
5. 치근단부위의 도말층 제거 효과는 GT file을 사용한 군이 Profile을 사용한 군보다 효과적이었으나 유의한 차이를 보이지 않았다 ($p > 0.05$).
6. 각 군에서 치근중앙부위와 치근단부위에서의 도말층 제거양상을 비교할 때, 모든 군에서 치근중앙부위가 치근단부위 보다 더 우수한 도말층 제거 양상을 보였고, 모든 군에서 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$).

References

- Esposito PT, Cunningham CJ. A comparison of canal preparation with nickel-titanium and stainless steel instruments. *Int Endod J* 21:173-176, 1995.
- Wu MK, Wasselink PR. A primary observation on the preparation and obturation of oval canals. *Int Endod J* 34:137-141, 2001.
- Roland W, Ashraf E, Claus L. Efficacy of hand and rotary instruments in shaping oval root canals. *J Endod* 28:580-583, 2002.
- Walton RE. Histologic evaluation of different methods of enlarging the pulp canal space. *J Endod* 2:304-311, 1976.
- Siqueira JF, Araujo MC, Garcia PF, Fraga RC. Histological evaluation of the effectiveness of five instrumentation technique for cleaning the apical third of root canals. *J Endod* 23:499-502, 1997.
- Joao V, Luis F. Effectiveness of manual and rotary instrumentation technique for cleaning flattened root canal. *J Endod* 28:365-366, 2002.
- Bechelli C, Colafranceschi M. Scanning electron microscope study the efficacy of root canal wall debridement of hand versus Lightspeed instrument. *Int Endod J* 34:137-141, 2001.
- Gutmann JL, Saunders WP, Nguyen L, Guo IY, Saunders EM. Ultrasonic root-end preparation Part 1. SEM analysis. *Int Endod J* 27:318-324, 1994.
- Cohen S, Burns PC. Pathway of the pulp. 7th ed. St. Louis, CV Mosby.
- McComb D, Smith DC. A primary scanning electron microscope study of root canal after endodontic procedures. *J Endod* 1:238-242, 1975.
- Walton R, Torabinejad M. Principle and practice of endodontics. 2nd ed. Philadelphia, 212-214, 1996.
- Brannstrom M, Nordenvall KJ, Glanz PO. The effect of EDTA-containing surface-active solutions on the morphology of prepared dentin: an vivo study. *J Dent Res* 59:1127-1131, 1980.
- Aktener BO, Cengiz T, Piskin B. The penetration of smear layer material into dentinal tubules during instrumentation with surface active reagents: a scanning electron microscope study. *J Endod* 15:588-590, 1989.
- Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD. Scanning electron microscopic investigation of smeared layer on root canal walls. *J Endod* 10:477-483, 1984.
- Williams S, Goldman M. Penetrability of the smeared layer by strain of proteus vulgaris. *J Endod* 11:385-388, 1985.
- Dippel H, Borggreven J, Happenbrouwers P. Morphology and permeability of the dentin smear layer. *J Prosthet Dent* 52:657-662, 1984.
- Akpata ES, Blechman H. Bacterial invasion of pulpar dentin wall in vitro. *J Dent Res* 61:435-438, 1982.
- Nissan R, Sehgal H, Pashley DH, Trowbridge H. Ability of bacterial endotoxin to permeate human dentin. *J Dent Res* 92:127, 1993.
- Brannstrom M, Nyborg H. Bacterial growth and pulpal changes under inlays cemented with zinc phosphate and epoxyate CBA 9080. *J Prosthet Dent* 31:556-565, 1974.
- Gencoglu N, Samni S, Gunday M. Evaluation of sealing properties of Thermafil and Ultrafil techniques in the absence or presence of smear layer. *J Endod* 19:599-603, 1993.
- Karagoz-Kucukay I, Bayirli G. An apical leakage study in the presence and absence of smear layer. *Int Endod J* 27:87-93, 1994.
- Kennedy WA, Walker WA, Gough RW. Smear layer removal effect on apical leakage. *J Endod* 12:21-27, 1986.
- Cergneux M, Ciucchi B, Dietschi JM, Holz J. The influence of smear layer on the sealing ability of canal obturation. *Int Endod J* 20:228-232, 1987.
- Baumgarther JC, Mader CL. A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. *J Endod* 13:147-157, 1987.
- Grossman LI, Melman B. Solution of pulp tissue by chemical agents. *J Am Dent Assoc* 28:223, 1941.
- Weine FS. Endodontic therapy. 5th ed. St. Louis, Mosby, 1996.
- Hulsmann M, Rummelin C, Schafers F. Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpiece and hand instruments: a comparative SEM investigation. *J Endod* 23:301-306, 1997.
- Heard F, Walton RE. Scanning electron microscope study comparing four root canals preparation techniques in small curved canals. *Int Endod J* 30:323-331, 1997.
- Bertrand M, Pizzardini P. The removal of the smear layer using the Quantec system. A study using the scanning electron microscope. *Int Endod J* 32:217-224, 1999.
- Alacam T. Scanning electron microscope study comparing the efficacy of endodontic irrigating systems. *Int Endod J* 20:287-294, 1987.
- Ciucchi B, Khettabi M, Holz J. The effectiveness of different endodontic irrigation procedures on the removal of the smear layer: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J* 22:21-28, 1989.
- Peters O, Barbakow F. Effects of irrigation on debris and smear layer on canal walls prepared by two rotary techniques: A scanning electron microscopic study. *J Endod* 26:6-10, 2000.
- Gambarini G, Laszkiewicz J. A scanning electron microscopic study of debris and smear layer remaining following use of GT rotary instruments. *Int Endod J* 35:422-427, 2002.