

2 종 전자근관장측정기의 정확도 및 일관성에 관한 in vivo 연구

필감운¹ · 김의성² · 정일영² · 이승종^{2*}¹연세대학교 원주기독병원 치과보존학교실, ²연세대학교 치과대학 치과보존학교실

ABSTRACT

In vivo evaluation of accuracy and consistency of two electronic apex locators

Chien-Yun Pi¹, Euseong Kim², Il-Young Jung², Seung-Jong Lee^{2*}¹Department of Conservative Dentistry, Wonju Christian Hospital, Yonsei University, Wonju²Department of Conservative Dentistry, Yonsei University, Seoul, Korea

Objectives: To evaluate the accuracy and consistency of two different apex locators at both the Apex and 0.5 marks.

Materials and Methods: Twenty-six root canals was scheduled for extraction for periodontal or prosthodontic reasons. Thirteen canals were measured using Root ZX and the rest by i-ROOT. The root canal length was measured both the at 0.5 mark and the Apex mark. The file was then fixed to the tooth, and the distance from the file tip to the major foramen of each canal was measured after removing the root dentin under the microscope so that the major foramen and the file tip were seen.

Results:

1. When the Apex mark was used, 100% of both the Root ZX and i-ROOT groups were within 0.5 mm of the major foramen.
2. When 0.5 mark was used, 100% of the Root ZX group and 77% of the i-ROOT group were within 0.5 mm of the major foramen.
3. In terms of standard deviation and quartile value, the Apex mark was more consistent than 0.5 mark in the Root ZX group, and 0.5 mark was more consistent in the i-ROOT group, but there was no statistically significant difference when compared with *t*-test.
4. The root canal length difference between the Apex mark and 0.5 mark was 0.22 mm and 0.46 mm in the Root ZX and i-ROOT groups, respectively.

Conclusions: In this study, the Apex mark was the more consistent mark. Therefore, it is recommended to subtract 0.5 mm, which is the average length between the apex and apical constriction, from the root canal length at the Apex mark to obtain the working length clinically. (J Kor Acad Cons Dent 2010;35(6):453-460.)

Key words: Accuracy; Consistency; Electronic apex locator; Microscope

-Received 15 July 2010; revised 15 September 2010; accepted 27 September 2010-

¹Pi CY, DDS, Resident, Department of Conservative Dentistry, Wonju Christian Hospital, Yonsei University, Wonju, Korea

²Kim E, DDS, MSD, PhD, Professor; Jung IY, DDS, MSD, PhD, Professor; Lee SJ, DDS, MSD, PhD, Department of Conservative Dentistry, Yonsei University, Seoul, Korea

*Correspondence to Seung-Jong Lee, DDS, MSD, PhD.

Professor, Department of Conservative Dentistry, Yonsei University College of Dentistry, 250 Seongsanno, Seodaemun-gu, Seoul, Korea 120-752
TEL, +82-2-2228-3148; FAX, +82-2-313-7575; E-mail, sjlee@yuhs.ac

서 론

성공적인 근관치료를 위해서 정확한 근관장 측정은 필수적이다. 정확한 근관장 측정을 통해 불충분한 근관형성 및 불필요한 치근단 조직의 손상 가능성을 줄일 수 있기 때문이다. 이상적인 근관충전의 위치에 대하여 Seltzer 등은 상아백악질경계점 부위인 근관협착부에서 근관충전이 되어야 근관충전물이 치근단 조직에 최소한으로 접촉되어 완벽한 창상치유가 일어나고 조직파괴나 염증반응 및 이물반응을 줄일 수 있다고 보고하였다.^{1,2}

근관협착부 위치에 대하여 많은 연구가 진행되었다. Kuttler는 치근단을 현미경으로 관찰하여 근관협착부가 주근단공에서 0.524-0.659 mm 상방에 위치한다고 하였다.³ Dummer 등은 근관협착부의 형태는 일정하지 않으며 여러 유형을 나타낸다고 보고하였다.⁴ 또한, Lee 등은 근관협착부는 상아백악질경계점 부위보다 주근단공이 재형성이 높고 임상적으로 관찰하기 용이하다고 하였다.⁵

이처럼 정확한 근관장 측정은 매우 중요한 요소이며 정확한 근관장을 측정하기 위하여 여러가지 방법이 연구되어 왔다. Cluster는 근관장 길이 측정을 전기전도를 통하여 측정할 수 있다고 처음으로 주장하였다.⁶ 이 원리를 근거로 하여 현재 가장 많이 사용되는 전자근관장측정기의 원리는 Suzuki에 의해 제안된 것으로,⁷ 개의 치아에서 치주인대와 구강점막 사이의 일정한 전기저항을 나타내는 점을 이용하여 근관장을 측정하는 것이다. Sunada 등은 구강점막과 치주조직 사이의 전기저항이 사람의 연령, 치아의 모양이나 근관의 직경과 상관없이 6.0 KΩ로 일정한 값을 나타내는 것을 발견하여 이를 근거로 하여 전자근관장측정기를 개발하였다.⁸ 하지만 Sunada 등에 의해 개발된 전자근관장측정기는 직류를 사용하였는데,⁸ 이로 인한 전극의 극성현상이 문제점으로 나타났다. Inoue는 교류를 사용한 2세대 전자근관장측정기를 개발하였으며 이는 한 개의 주파수를 사용하여 근관 내의 impedance 차이를 측정하는 방법이다.⁹ 하지만 2세대 전자근관장측정기들은 전해질, 과도한 수분, 생활치수조직, 누출 또는 과도한 출혈이 존재 시 근관장 측정이 부정확하다는 단점이 있다.^{8,10}

이 전의 근관장측정기가 근관 내의 전해질이 없는 경우에만 정확하게 측정된다는 단점을 극복하기 위해 3세대 전자근관장측정기가 개발되었다. Yamashita는 1 kHz와 5 kHz 두 주파수 간의 impedance 차이를 이용하여 근관장을 측정하는 Endex를 개발하였으며,¹¹ 이는 근관협착부에서 두 개의 impedance가 가장 큰 차이를 보이는 원리를 이용한 것이다. Endex는 사용 시에 근관마다 매 번 근관 내용액의 impedance에 따른 보정을 해야 하는 단점이 있었다.

Kobayashi 등은 두 개의 서로 다른 주파수를 이용하여 근관 내의 impedance를 동시에 측정했을 때 두 개의

impedance 간의 비율은 근관 내의 전해질 용액에 관계없이 항상 일정한 값을 가지게 되는 점을 실험적으로 증명하였으며,^{12,13} impedance 간 비율을 이용하면 여러 전해질 용액 하에서도 정확한 측정이 가능하다는 것을 발표하였다. 근관벽의 정전용량 (electronic capacitance)은 근단공보다 매우 낮으므로, file tip이 근관협착부에 가까워 질수록 두 개의 impedance의 비율이 크게 감소하여 근관 내 file의 위치를 나타내는데 사용할 수 있다. 이러한 원리 하에 0.4 kHz와 8 kHz 두 주파수의 impedance 비율을 이용하여 근관 내 file의 위치를 표현하는 Root ZX (J.Morita Corp., Tokyo, Japan)가 개발되었다.¹⁰

전자근관장측정기는 정확성 뿐만 아니라, 근관 내의 조건에 관계없이 근관협착부에서 항상 일정한 거리를 재현해 낼 수 있는 일관성 (consistency)도 매우 중요하다. 이러한 일관성이 증명된다면 실제 임상에서 전자근관장측정기를 사용하여 얻은 근관장에서 일정한 거리를 가감하여 사용할 수 있기 때문이다. 또한 대부분의 전자근관장측정기는 0.5 mark를 가리킬 때를 기준으로 근관장을 측정하도록 되어 있지만, 실제로는 기기가 주근단공 부위인 Apex mark가 아닌 근관협착부인 0.5 mark를 더 일관성 있게 찾아내는지 또한 평가해 볼 필요가 있다.¹⁴ 황 등과 윤 등의 전자근관장측정기에 관한 in vitro 연구에 의하면, 결과는 0.5 mark보다 Apex mark에서 더 높은 일관성을 보였다.^{14,15} 그러나 이와 같은 in vitro 방법은 다양한 임상 상황에서 전자근관장측정기의 정확성을 평가하는 데는 한계가 있을 것으로 보인다.

따라서 본 연구에서는 치주질환이나 보철치료계획으로 발치 예정인 치아에서 0.4 kHz와 8 kHz의 두 개의 주파수의 impedance의 비율에 의해 근관 내 file의 위치를 나타내는 Root ZX (Morita, Tokyo, Japan)와 국산제품인 0.5 kHz와 5kHz의 주파수를 이용한 주파수 의존형 전자근관장측정기인 i-ROOT (S-Denti, Seoul, Korea)를 사용하여 근관장을 측정했을 때 0.5 mark와 Apex mark에서의 정확도 (accuracy)와, 0.5 mark와 Apex mark에서의 측정값 중 어느 지점에서 더 일관성 (consistency)을 보이는지를 비교하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구 대상

치주질환이나 보철치료계획으로 발치 예정인 건전한 26개의 단근치의 독립된 26개의 근관을 대상으로 하였으며, 발거된 치아는 실험기간 동안 생리식염수에 보관하였다.

이번 연구의 방법과 동의서는 연세대학교 원주의과대학 연구윤리심의위원회 (Institutional Review Board-No.2009-33)에 의해 승인되었고 모든 시술은 환자 동의서

작성 하에 진행하였다.

2. 연구 방법

가. 근관길이 측정 전 준비

모든 실험 대상 치아들은 임상 및 방사선사진검사 상 치근단 병소가 없고 생활력이 있는 치아에 한해서 진행하였다. 국소마취 (2% lidocaine, 1 : 100000 epinephrine 함유) 을 시행 후 러버댐을 적용한 후 치아의 치수강을 개방하고 교합면을 치아 장축에 수직으로 삭제하여 근관장을 측정할 때 발생할 수 있는 오차를 최소화 하도록하였다. 근관에 #8 또는 #10 K-file을 넣어 근단공 개방을 확인하고 Gates-Glidden drill (Dentsply, Tulsa, OK USA) #2, #3, #4 를 차례로 사용하여 치근의 치관부 1/3 부위에 coronal flaring을 시행한 후, 5.25% sodium hypochlorite로 근관을 세척하고 치수강 내 남아있는 과량의 수분을 air syringe로 제거하여 치수강만 건조시키고 근관은 젖은 상태로 유지하였다.

나. 2중 전자근관장 측정기

이번 연구에는 0.4 kHz와 8 kHz의 주파수를 이용하는 Root ZX (Morita, Tokyo, Japan, Figure 1)와 최근에 개발된 0.5 kHz와 5 kHz의 주파수를 이용하는 주파수 의존형 전자근관장측정기인 i-ROOT (S-Denti, Seoul, Korea, Figure 2)을 사용하였다.

다. 0.5 mark와 Apex mark에서의 길이 측정

26개 근관 중에서 13개는 Root ZX를 이용하여 길이를 측정하였고 나머지 13개는 i-ROOT를 이용하여 측정하였다.

K-file (Mani Co, Tochigi, Japan)을 이용하여 근관장까지 들어가는 file 중 가장 큰 직경의 file을 선택하였다. 모

든 근관에서 근관장 측정은 교합면에서부터 file 손잡이 하연까지의 길이를 Digital Caliper (Mitutoyo Corp., Kanagawa, Japan)을 사용하여 0.5 mark에서 먼저 측정 후, Apex mark로 전진시켜 길이를 다시 측정하여 이 지점에서 Light cured glass ionomer (Fuji II LC, GC corporation, Tokyo, Japan)을 이용하여 file을 고정하였고 file의 총 길이 (보통 25 mm)에서 빼서 실제 근관장으로 기록하였다 (Figure 3). File 고정 후에는 전자근관장측정기를 다시 한 번 사용하여 정확한 측정지점을 나타내는지 재확인하였다. 이후 치아들을 조심스럽게 발거한 후 생리식염수에 보관하였다.

라. 주근단공과 file tip 사이의 실제 거리 측정

치근단부 5 mm를 21.3배의 수술현미경 (Carl Zeiss, Oberkochen, Germany) 하에서 치근의 장축 방향으로 고속렌드피스 다이아몬드 바를 사용하여 조금씩 삭제하여 file tip이 어느 정도 노출되게 하였다. 그리고 15번 scalpel blade와 endodontic explorer를 사용하여 남아 있는 치질을 조심스럽게 제거하여 file tip을 완전히 노출시켰다. 현미경 하에서 진행한 과정들은 현미경과 연결된 DVD recorder (Sony, Tokyo, Japan)을 통해 저장하였다. 이미지를 영상분석 프로그램인 i-solution (IMT i-solution, Inc., Vancouver, Canada)에 적용하여 file tip에서부터 주근단공까지의 최단거리를 측정하였다 (Figure 4).

File tip에서부터 주근단공까지의 거리 (Figure 4b)을 측정할 때에는 주근단공의 외측 벽으로 생각되는 두 지점에 표시를 한 후 연결 (Figure 4a)하고, file tip으로부터 연결선까지의 최단거리를 측정하였다.

File tip이 주근단공을 넘어선 경우 양 (+)으로 표시하였고, 주근단공에 미치지 못하였을 경우 음 (-)으로 표시하였다.



Figure 1. Root ZX



Figure 2. i-ROOT

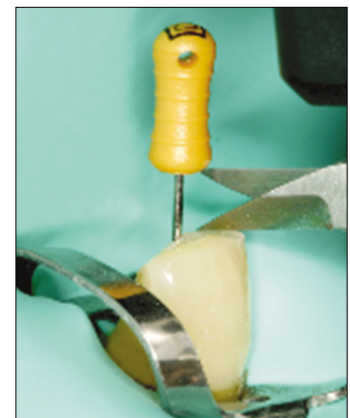


Figure 3. Length measurements with digital caliper.

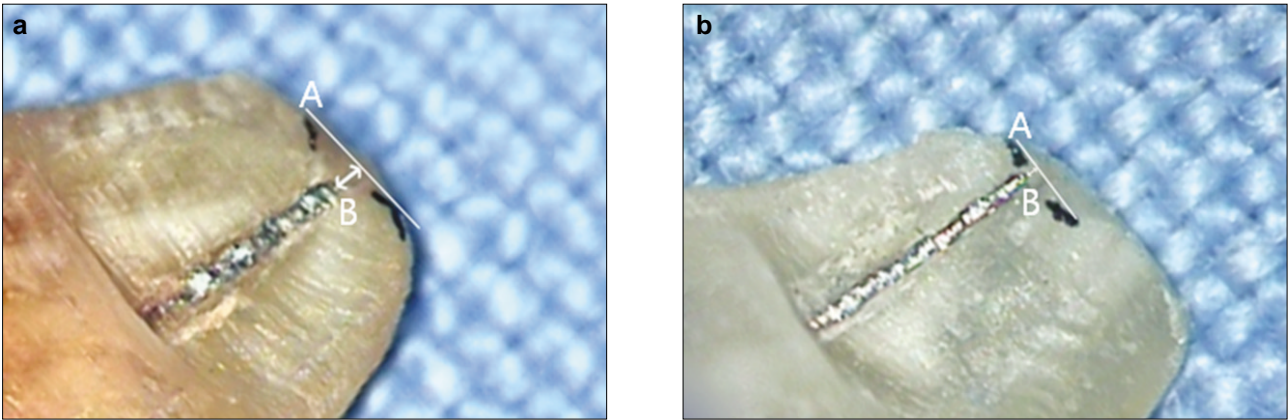


Figure 4. Distance between file tip and major foramen under I-solution program (Microscope image).

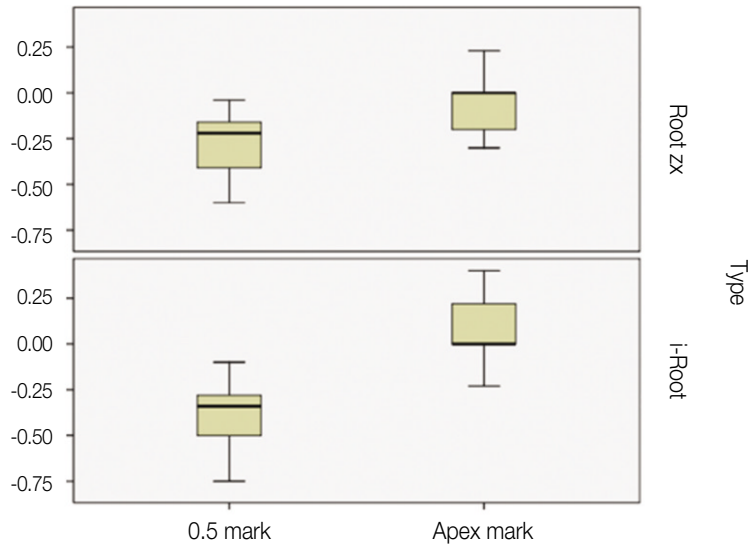


Figure 5. Box plots: Quartile value of file tip and major foramen distance at 0.5 mark and the Apex mark.

마. 평가

본 연구에서는 먼저 정확도 (accuracy)를 측정하기 위해, 2종의 전자근관장측정기에서 Apex mark에 고정된 file tip의 위치가 주근단공 ± 0.5 mm 이내에 속하는 확률을 비교하였다.

일관성 (consistency)을 평가하기 위해서는 황 등¹⁴과 윤 등¹⁵이 사용한 표준편차와 사분위 범위를 이용한 방법에 따라 시행하였으며, 추가적으로 측정치의 평균값으로부터 절대편차 값을 구한 후 *t*-test를 이용하여 Root ZX와 i-ROOT 간과, 0.5 mark와 Apex mark 간의 일관성에 관한 통계적 유의차를 알아보았다.

결 과

Root ZX 및 i-ROOT의 0.5 mark, Apex mark에서의 측정값은 Table 1과 같다. File tip과 주근단공의 거리가 임상적 허용범위인 주근단공에서 ± 0.5 mm를 벗어난 경우는 26개의 근관 중 3개의 근관이 있었으며, 이 3개의 근관은 모두 0.5 mark에서 i-ROOT를 사용한 경우였다.

Root ZX와 i-ROOT에서 0.5 mark와 Apex mark에서의 일관성을 표준편차 및 사분위 값을 통해 분석한 결과는 Root ZX에서는 Apex mark가 0.5 mark보다 일관성을 나타냈으며 i-ROOT에서는 0.5 mark가 Apex mark 보다

Table 1. Distance between file tip and major foramen at 0.5 mark and the Apex mark (mm), according to measurement Microscopic image

No.	Root ZX		No.	i-ROOT	
	0.5 mark	Apex mark		0.5 mark	Apex mark
1	-0.22	0.01	1	-0.28	0.33
2	-0.04	0.15	2	-0.1	0.4
3	-0.28	0.23	3	-0.42	0.02
4	-0.47	-0.25	4	-0.31	0
5	-0.47	-0.23	5	-0.28	0
6	-0.21	0	6	-0.52	0
7	-0.41	0	7	-0.75	-0.23
8	-0.09	0	8	-0.5	0.33
9	-0.14	-0.11	9	-0.31	0.22
10	-0.6	-0.3	10	-0.34	0.02
11	-0.16	0	11	-0.24	0
12	-0.32	-0.2	12	-0.37	0
13	-0.21	0	13	-0.63	-0.13
Mean	-0.28	-0.05	Mean	-0.39	0.07
SD	0.17	0.16	SD	0.17	0.19
Range	0.56	0.53	Range	0.65	0.63

일관성을 보였으나 (Figure 5), *t*-test를 이용한 통계학적 비교는 두 지점 사이의 유의차가 없었다.

Apex mark와 0.5 mark의 차이는 Root ZX에서는 0.22 mm, i-ROOT에서는 0.46 mm를 나타내며 Root ZX에서 더 안정적인 측정치를 나타내었다.

고 찰

본 연구에서는 전자근관측정기의 정확성 (accuracy)과 일관성 (consistency)의 두 가지 요소로 구분하여 평가하였다. 정확성의 평가를 위해서 Fouad 등의 연구에 의거해 각 전자근관측정기의 Apex mark와 0.5 mark에서 측정된 값이 주근단공의 ± 0.5 mm 이내에 있는지를 평가하였다.¹⁶ 본 실험에 사용한 Root ZX와 i-ROOT는 제조사의 지침에 의하면 0.5 mark를 constriction point를 위한 근관측정기의 기준점으로 제시하였고, 전자근관측정기에서의 Apex mark는 주근단공을 의미한다. 황 등은 전자근관측정기의 0.5 mark와 Apex mark 모두에서 100% 임상적 오차범위인 주근단공 ± 0.5 mm 이내에 속하는 정확도를 보인다고 하였다.¹⁴ 하지만 윤 등은 전자근관측정기 Root ZX를 사용 시 0.5 mark와 Apex mark 모두에서는 100% 정확도를 보인 반면에,¹⁵ i-ROOT에서는 3개의 근관이 임상적 오차범위인 주근단공 ± 0.5 mm를 벗어났다고

하였다.

이번 연구의 현미경 계측에서도 Root ZX는 0.5 mark 및 Apex mark 모두에서 100% 정확도를 보인 반면에, i-ROOT의 Apex mark에서는 모두 100% 정확도를 보였으나 0.5 mark에서는 13개의 근관 중에서 3개의 근관이 임상적 오차범위인 주근단공 ± 0.5 mm를 벗어나 (Table 1) 윤 등의 결과와 일치하였다.¹⁵

다음으로 전자근관측정기의 일관성을 평가하기 위해 현미경 계측 상에서 0.5 mark와 Apex mark 두 지점에서의 표준편차와 사분위 값을 구하였다 (Figure 5). 표준편차는 자료의 분산정도를 나타내는 수치이고, 표준 편차가 작은 것은 평균값 주위로 분산의 정도가 작은 것을 의미한다. 사분위 값은 변량 전체를 크기의 순서로 벌여 놓아 작은 쪽에서 1/4, 3/4인 위치에 있는 변량의 차이를 나타내는 값으로 자료가 흩어져 있는 상태를 보여준다. 그러므로, 표준편차와 사분위 값이 작을 수록 일관성 (consistency)이 있다고 볼 수 있다. Root ZX의 0.5 mark에서 표준편차는 0.17이고 사분위 값은 0.29 mm였으며, Apex mark에서는 표준편차가 0.16이고 사분위 값은 0.22 mm로 0.5 mark의 표준편차와 사분위 값이 Apex mark에서 보다 큰 값을 가졌다. i-ROOT 경우에는 0.5 mark에서 표준편차는 0.17이고 사분위 값은 0.23 mm가 나왔으며, Apex mark에서 표준편차는 0.19이고 사분위 값은 0.28 mm를 보였다.

Root ZX와는 달리 Apex mark보다 0.5 mark에서 표준편차와 사분위 값 모두 작은 값을 보였다.

일관성의 통계적인 유의한 차이를 알아보기 위하여 file tip과 주근단공까지 거리의 평균을 구하고, 이 평균값으로부터 각 변량의 절대편차 값을 구한 후 *t*-test를 이용하여 평가하였다. Root ZX의 0.5 mark와 Apex mark, i-ROOT의 0.5 mark와 Apex mark 사이, 그리고 Root ZX와 i-ROOT 사이의 일관성에 관한 통계적 유의차는 없었다. 개별적으로 보면 Root ZX를 사용한 13개의 근관 중 5개의 근관에서 file tip이 주근단공보다 짧았으며, 3개의 근관에서는 주근단공을 넘었고, 5개의 근관에서는 정확히 주근단공에 위치하였다. i-ROOT를 사용한 경우에는 13개의 근관 중 2개의 근관에서 file tip이 주근단공보다 짧았으며, 6개의 근관에서 주근단공을 넘었고, 5개의 근관에서는 정확히 주근단공에 위치하였다.

Kuttler과 Dummer 등을 비롯하여 많은 저자들이 주근단공에서 근관협착부 사이의 평균거리는 0.5 mm를 보인다고 하였다.^{3,4} 그러나 근관은 항상 근관협착부에서 끝나는 것이 아니며 명확한 근관협착부를 나타내지 않는 경우가 많다고 하였다. Lee 등에 의하면 현미경 상에서도 단지 50% 정도 만이 모호하게 상아백악질경계부를 확인할 수 있으며 나머지는 명확하게 판단하기 힘들다고 보고하였다.⁵ Wrbas 등은 치아마다 근관협착부의 위치가 일정하지 않으므로 전자근관장측정기를 사용한다고 해서 정확한 근관협착부를 가리키는 것은 아니라고 하였다.¹⁷ 이번 실험에 사용된 일부 치아에서도 근관협착부가 존재하지 않고 주근단공만 존재하는 경우가 전체 26개 중 22개였다.

본 연구에서는 실험 상의 오차를 최소화하고 치근단공을 정확하게 확인하고자 여러가지 요소를 고려하였다.

첫째, 본 연구에서는 전자근관장측정기 사용 시에 근관장측정기 자체의 오류가 아닌 환경적 요인으로 발생할 수 있는 오차를 최소화하기 위해 노력하였다. Veyra 등은 전자근관장측정기를 사용하기 전 근관장길이 값의 오류를 야기할 수 있는 요인으로 metal이 함유된 보철한 치아, 타액의 오염, dehydration 등이 포함된다고 하였다.¹⁸ 따라서 본 연구에서는 러버댐 장착 하에 실험을 진행하였으며, 치주질환 및 보철치료계획으로 발치 예정인 충치가 없고 수복되어 있지 않는 건전한 치아를 선택하여 진행하였다. 또한 이전 연구들에서 근관의 길이를 측정할 때 file tip과 rubber stop 사이의 거리를 측정하는 것과는 달리, 이번 연구에서는 file의 손잡이 하연에서 교합면까지의 거리를 측정 후 file의 총 길이인 25 mm에서 측정된 길이를 뺄으로써 근관장을 측정하였다. 이러한 방법을 사용함으로써 근관장 측정 시 file을 치아에서 제거하는 과정에서 발생할 수 있는 오차와 rubber stop의 이동으로 생길 수 있는 오차를 줄일 수 있었다.

둘째, file의 위치와 주근단공의 명확한 관계를 평가하기 위해 발거 후 조직학적으로 관찰하는 방법을 사용하였다. 근관장 길이를 관찰하기 위해 현미경 하에서 치아의 치근단부를 직접 삭제하면서 주근단공을 확인하는 방법으로, 치아 삭제 시 치아파절로 인해 시편을 제외하는 경우가 있는 것이 단점이나,¹⁹ 현미경 하에서 관찰할 수 있다는 점에서 매우 정확한 방법이므로 선택하였다.

상기와 같이 여러 요소를 고려했으나 이 실험에서는 몇 가지 한계점이 존재한다. 첫째, Dunlap 등, Pagavino 등, Venturi & Breschi 등은 치수생활력을 가진 치아와 괴사된 치수를 가진 치아에서 전자근관장측정기의 일관성을 평가했을 때, 이들은 모두 치수생활력은 전자근관장측정기의 정확성 (accuracy)에 크게 영향을 미치지 않는다고 하였다.²⁰⁻²² 반면, Goldberg 등은 치수괴사와 치근흡수가 동반된 경우, 정확성이 62.7%로 현격히 떨어진다고 하였다. 따라서 추후 연구에서는 이런 치근단 병소나 괴사된 치수가 있는 치아도 실험 군에 포함시켜야 전자근관장측정기의 임상적 정확성을 더 의미있게 평가할 수 있으리라고 생각된다.²³

둘째, 이번 연구에서는 시편의 수가 부족하여 통계분석 상 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 추후 시편의 수를 증가시킨 연구를 통해 검증할 필요가 있을 것이다.

셋째, 임상적으로 방사선사진 촬영을 동반하여 근관치료를 진행하게 되는데, 발거 전 방사선 사진을 촬영하여, 임상적으로 방사선사진과 같이 사용했을 때의 전기근관장측정기의 유용성을 비교하는 추가연구도 임상적으로 의미가 있으리라고 생각된다.

결론

본 연구는 치주질환 및 보철치료계획으로 발치 예정인 치아에서 2개의 전자근관장측정기를 사용하여 얻은 측정치의 정확성 (accuracy)을 평가하고, 각각 0.5 mark와 Apex mark 중 어느 지점에서 더 일관성 (consistency)을 보이는지를 비교하여 알아보려고 하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Apex mark 이용 시 Root ZX와 i-ROOT 모두에서 주근단공 ± 0.5 mm 이내의 부위를 100% 찾아내는 정확도를 보였다.
2. 0.5 mark 이용 시 Root ZX에서는 100%, i-ROOT에서는 77%에서 주근단공 ± 0.5 mm 이내의 부위를 찾아내는 정확도를 보였다.
3. 표준편차와 사분위 값으로 평가하였을 때 Root ZX에서는 Apex mark가 0.5 mark보다 일관성을 나타냈으며 i-ROOT에서는 0.5 mark가 Apex mark보다 일관성을 보였으나 *t*-test 결과에서는 통계적 유의차가 없었다.

4. Apex mark와 0.5 mark 차이는 Root ZX에서는 0.22 mm, i-ROOT에서는 0.46 mm를 보였다.

이상의 결과로 Apex mark와 0.5 mark 모두 일관성에 있어서의 차이는 없으나 Apex mark의 측정치가 0.5 mark에 비하면 주근단공에 거의 일치하는 점을 고려해, 임상에서 근관장을 결정할 시 Apex mark 측정치를 먼저 구한 후 기존연구들에서 보고된 주근단공에서부터 근관협착 부까지의 평균거리인 0.5 mm를 빼는 것이 좋을 것으로 사료된다.

References

- Seltzer S, Soltanoff W, Sinai I, Goldenberg A, Bender IB. Biologic aspects of endodontics. 3. Periapical tissue reactions to root canal instrumentation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1968;26(5):694-705.
- Seltzer S, Soltanoff W, Sinai I, Smith J. Biologic aspects of endodontics. IV. Periapical tissue reactions to root-filled teeth whose canals had been instrumented short of their apices. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1969;28(5):724-738.
- Kuttler Y. Microscopic investigation of root apices. *J Am Dent Assoc* 1955;50(5):544-552.
- Dummer PM, McGinn JH, Rees DG. The position and topography of the apical canal constriction and apical foramen. *Int Endod J* 1984;17(4):192-198.
- Lee SJ, Nam KC, Kim YJ, Kim DW. Clinical accuracy of a new apex locator with an automatic compensation circuit. *J Endod* 2002;28(10):706-709.
- Cluster L. Exact methods of locating the apical foramen. *J Natl Dent Assoc* 1918;5:815-819.
- Suzuki K. Experimental study on iontophoresis. *J Jpn Stomatol* 1942;16:411-417.
- Sunada I. New method for measuring the length of the root canal. *J Dent Res* 1962;41(2):375-387.
- Inoue N. An audiometric method for determining the length of the canals. *J Can Dent Assoc* 1973;39(9):630-636.
- Kim E, Lee S. Electronic apex locator. *Dent Clin North Am* 2004;48(1):35-54.
- Yamashita Y. A study of a new electric root canal measuring device using relative values of frequency response: influences of the diameter of apical foramen, the size of electrode, and the concentration of sodium hypochlorite. *Jpn J Conserv Dent* 1990;33:547-549.
- Kobayashi C MK, Suda H, Sunada I. New practical model of the division method electronic root canal length measuring device. *J Jpn Endodon Assoc* 1991;12:143-148.
- Kobayashi C, Suda H. New electronic canal measuring device based on the ratio method. *J Endod* 1994;20(3):111-114.
- Hwang GY, Roh BD, Kim ES, Lee SJ. In vitro evaluation of the consistency of two electronic apex locators. *J Kor Acad Cons Dent* 2008;33(1):20-27.
- Yoon BH, Kim ES, Jung IY, Lee SJ. In vitro evaluation of the consistency of two electronic apex locators. Department of Dentistry, The graduate school, Yonsei University. 2009.
- Fouad AF, Rivera EM, Krell KV. Accuracy of the Endex with variations in canal irrigants and foramen size. *J Endod* 1993;19(2):63-67.
- Wrbas KT, Ziegler AA, Altenburger MJ, Schirrmeister JF. In vivo comparison of working length determination with two electronic apex locators. *Int Endod J* 2007;40(2):133-138.
- Vieyra JP, Acosta J, Mondaca JM. Comparison of working length determination with radiographs and two electronic apex locators. *Int Endod J* 2010;43(1):16-20.
- Kim E, Marmo M, Lee C, Oh N, Kim I. An in vivo comparison of working length determination by only root-ZX apex locator versus combining root-ZX apex locator with radiographs using a new impression technique. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;105(4):e79-e83.
- Dunlap CA, Remeikis NA, BeGole EA, Rauschenberger CR. An in vivo evaluation of an electronic apex locator that uses the ratio method in vital and necrotic canals. *J Endod* 1998;24(1):48-50.
- Pagavino G, Pace R, Baccetti T. A SEM study of in vivo accuracy of the Root ZX electronic apex locator. *J Endod* 1998;24(6):438-441.
- Venturi M, Breschi L. A comparison between two electronic apex locators: an ex vivo investigation. *Int Endod J* 2007;40(5):362-373.
- Goldberg F, Marroquon BB, Frajlich S, Dreyer C. In vitro evaluation of the ability of three apex locators to determine the working length during retreatment. *J Endod* 2005;31(9):676-678.

