

## 전자근관장측정기 Root ZX의 정확도에 관한 실험적 연구

서울대학교 치과대학 치과보존학교실

강대훈 · 정관희 · 윤수한 · 배광식

Abstract

### AN IN VITRO EVALUATION OF THE ACCURACY OF ROOT ZX ELECTRONIC APEX LOCATOR

Dae-Hoon Kang, Kwang-Hee Chung, Soo-Han Yoon, Kwang-Shik Bae

*Dept. of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Seoul National University*

The purpose of this study was to evaluate the in vitro accuracy of Root ZX(Morita Co., Japan) which is the ratio type electronic apex locator.

The 86 extracted human palatal roots of maxillary molar with fully formed apices were used. File lengths with the file tip just visible at the foramen were compared to those measured with Root ZX. For length measuring with Root ZX, saline test model with which the apical 1/3 of each root was submerged into normal saline were designed.

The root canal lengths were determined with Root ZX and the radiographs were taken with a file in the canal. The distances from file tips of Root ZX lengths to apices in radiographs also were measured with Profile projector PJ311(Mitutoyo Co., Japan).

The results were as follows :

1. The root canal length determined with electronic apex locator was  $0.78 \pm 0.53$  mm shorter than the length with visual measurement.
2. The file tip of Root ZX lengths was located at  $0.85 \pm 0.49$  mm away from the apex in radiograph.
3. The accuracy of the Root ZX was 79.1% within 0.5mm of visual working length and 96.5% within 1.0mm.

Key words : Accuracy, electronic apex locator, working length, radiographic apex, apical foramen.

본 연구는 1993년도 서울대학교병원 임상연구비 지원에 의해 이루어진 것임.

## I. 서 론

근관치료시 성공적인 근관치료를 위하여 정확한 작업근관장의 측정은 필수적이다. 근관의 확대 및 충전과정은 근관내에 한정되어야 하며, 동시에 근관내에 치수잔사나 병원균이 남지 않게 제거되어야 한다. 실제로 Seltzer<sup>1)</sup>은 overfilling 이나 underfilling된 경우에는 근관치료의 성공률이 낮아진다고 보고하고 있다. 조직학적으로는 백악-상아질경계부(cementodentinal junction, CDJ)를 경계로 그 외부는 조직의 특성상 치주조직으로 평가되며<sup>6,7)</sup>, 해부학적으로도 CDJ이 근관의 가장 좁은 부위로서 근관충전제를 채워 넣기위한 자연적인 형태로 간주된다<sup>8)</sup>. 따라서 여러 학자들에 의해서 근첨협착부(apical constriction) 혹은 CDJ이 근관치료를 위한 이상적인 근첨으로 인정되고 있다<sup>2,40)</sup>. CDJ의 위치는 치아 및 치근에 따라 조금씩 차이가 있으나 평균적으로 근단공(apical foramen)으로부터 0.5~0.7 mm 치관쪽에 위치하고, 근단공도 해부학적 근첨으로부터 평균 0.5 mm 치관쪽에 위치하는 것으로 알려져 있다<sup>2)</sup>. 따라서 임상치료과정에서는 대부분의 경우 작업근관장은 방사선학적 근첨으로부터 약 1 mm 짧게 설정된다.<sup>3)</sup>

작업근관장 측정법은 방사선 사진에 의한 법, 전자근관장 측정기를 이용한 방법, 촉감에 의한 방법, 환자의 반응에 의한 방법, 페이퍼 포인트에 의한 방법 등이 사용되어져 왔으며, 방사선 사진을 이용한 통법의 근관장측정법은 대부분의 경우에 있어 가장 정확하고 신뢰할 수 있는 방법으로 인정되고 있으나<sup>4)</sup>, 근단공의 위치가 방사선학적 근첨으로부터 일정한 위치에 있지 않는 경우도 많고, 상악대구치와 같이 경우에 따라서는 방사선사진의 판독이 쉽지 않을 수도 있다<sup>5)</sup>.

1918년 Custer<sup>41)</sup>에 의해 처음으로 전류를 사용한 근관장측정법이 제안되었고, Sunada<sup>9)</sup>에 의해 치근막과 구강점막사이의 전기적 저항이 환자의 나이나 치아의 형태에 관계없이 일정한 값을 갖는다고 보고된 이래로 많은 종류의 전자근관장측정기(apex locator)가 개발되었다.

전자근관장측정기는 작동원리에 따라 직류저항형(resistance type), 임피던스형(impedance type), 주파수의존형(frequency-dependent type) 및 비율형(ratio type)으로 분류된다. 그러나 초기의 직류저항형 전자근관장측정기는 치근막과 구강점막간의 전기저항이 모든 사람에게서 일정하다는 원리에 근거를 둔 것이었으나, 이들은 근관내가 건조하여야 하며 과다한 습기나 치수잔사, 차아염소산나트륨이나 생리식염수와 같은 전해질, 혈액등이 존재할 경우에는 이들에 접촉하는 순간 회로가 구성되어 이 부위를 근첨으로 잘못 인지하게 되어 정확한 근관장의 측정이 곤란하여 널리 이용되지 못하였다<sup>29,30,19)</sup>. 임피던스형 전자근관장측정기는 투명상아질(transparent dentin)의 양의 차이에서 생기는 electrical impedance값의 변화를 측정하는 것으로서, 이 값이 근첨에서 갑자기 감소하는 원리로 고안되었으나<sup>18)</sup>, 정확성에 문제가 있고, 피막을 입힌 탐침의 두께와 피막의 탈락으로 인해 사용상에 어려움이 있었다. 이들 초기의 기구들은 실험방법, 실험에 사용된 기구 및 재료의 상태에 따라 다양한 결과를 보여 그 정확성에 대한 신뢰성이 문제가 되어왔다. 그러나 최근에는 주파수가 서로 다른 2개의 교류전류를 이용하여, 이 각각의 주파수에 대한 저항을 동시에 측정한 다음, 이 두 저항치의 비로써 근관내에서의 파일의 위치를 감지하는 주파수의존형 및 비율형 전자근관장측정기가 개발되어 임상에서의 활용도를 증대시켰다<sup>10,11)</sup>. 이들은 파일의 크기, 근첨공의 직경, 전도성 근관세척액 등의 영향을 받지 않아 과거의 저항형 또는 임피던스형 기구들에 비해 정확도가 크게 증가된 것으로 알려져 있다<sup>27,28,29)</sup>.

본 실험에서는 발견된 치아에서 비율형(ratio type) 전자근관장 측정기인 Root ZX를 이용해 근관장을 측정하여, 육안으로 확인한 근단공까지의 거리와의 차이를 비교하여 Root ZX의 정확도를 평가하고, 또한 방사선 사진상의 파일 끝의 위치와 근첨간의 거리를 측정하여 방사선 사진을 이용한 근관장 측정을 간접 평가하였다.

## II. 연구재료 및 방법

본 실험에서는 발거한 86개의 상악대구치의 구개측 치근을 백악법랑경계에서 횡절단하여, 각각의 치근에 대하여 전자근관장측정기인 Root ZX를 이용하여 측정된 근관장과 육안으로 관찰한 작업근관장(working length)을 비교하였다. 발거한 치아는 발거 즉시 생리식염수에 보관하여 실험에 사용하였다. 이때 실험에 사용한 치아는 근침의 형성이 완료되어 있고, 근관치료를 받은 경험이 없는 치아만을 사용하였다. 선택된 86개의 상악대구치의 구개측 치근을 diamond bur를 이용하여 횡절단하고, 실제 치근의 길이를 측정하였다. Root ZX를 이용한 작업근관장의 측정은 실험을 위해 고안한 플라스틱용기에 생리식염수를 채우고 용기의 윗면에 구멍을 뚫어 치근의 1/3이 생리식염수에 잠기도록 위치시킨 후 환자의 반대쪽 입술에 접촉시키는 도선(alternate lead)을 가장자리의 구멍을 통해 생리식염수에 잠기도록 고정하여 측정하였다. Root ZX의 파일에 연결하는 도선(instrument lead)을 부착한 #15 K-파일을 임상적인 실제 상황과 유사하게 하기 위하여 치수잔사 또는 생리식염수가 들어있는 상태에서 근관내로 삽입하여 monitor의 지시눈금이 '0.5'에 이르러 경보음이 울릴 때까지 조심스럽게 밀어넣은 후, 이때의 파일길이를 Root ZX를 이용하여 측정된 근관장으로 정하고, 방사선사진을 촬영하였다. 작업근관장을 육안으로 결정할 때는 파일을 근관내로 조심스럽게 삽입하여

파일이 근단공에 도달한 것을 육안으로 확인한 후, 길이를 측정하여 그 값에서 0.5 mm 줄인 길이로 정하였다. 이는 CDJ이 대개 근단공으로부터 0.5 내지 0.7 mm 상방에 위치하므로 이것을 보상하기 위함이다. 그 후 전자근관장측정기의 정확도를 비교하기 위해서 Root ZX를 이용해 측정된 근관장과 육안으로 측정된 작업근관장까지의 거리를 상호 비교하였다. 또한 방사선 사진에서 근침으로부터 파일 끝까지의 거리를 Profile projector PJ311(Mitutoyo Co., Japan)를 이용하여 측정하였다.

## III. 연구결과

86개의 발거한 상악대구치의 구개측 치근에 대하여 전자근관장측정기와 육안으로 근관길이를 측정하여 두 종류의 길이의 차이를 구하였다. 이 때 전자근관장측정기로 측정된 길이가 더 길 경우는 (+)로, 가시적인 방법으로 측정된 근관길이가 더 길 때는 (-)로 표시하였다. Table 1에서 보는 바와 같이 38개의 치근에서 두 가지의 측정치가 일치하였고, 23개의 치근에서 전자근관장측정기로 측정된 값이 0.5 mm 짧게 나타났다. 또한 두 측정값의 차이의 평균은 -0.28 mm 이었고, 표준편차는  $\pm 0.53$  mm였다. 다음으로 Root ZX값이 0.5일 때의 방사선사진상의 근침에서 파일 끝까지의 길이를 Profile projector를 이용하여 측정하여  $0.85 \text{ mm} \pm 0.49 \text{ mm}$ 의 평균값과 표준편차를 얻었다.

Table 1. Differences between measurements by Root ZX and visual method (N=86)

Difference between measurements	frequency	percentage (%)
-2 (mm)	1	1.2
-1.5	2	2.3
-1.0	13	15.1
-0.5	23	26.8
0	38	44.2
+0.5	7	8.1
+1.0	2	2.3
Total	86	100

\* mean of differences  $\pm$  S.D :  $-0.28 \pm 0.53$  mm

#### IV. 총괄 및 고안

근관내의 청결 및 성형을 목적으로 하는 근관형성을 잘하기 위하여 정확한 근관장 측정은 매우 중요한 단계이다. 이를 위해서는 먼저 근관치료의 이론적인 근단공에 대한 정의가 이루어져야 하겠다. 근관형성의 종점은 근단공 쪽의 가장 협소한 부위로 잡는 것이 합리적이며, 일반적으로 조직학적으로는 치수에서 치근막으로 이행되는 부위이며<sup>6,7)</sup>, 해부학적으로도 가장 협소한 부위일 경우가 많은 백악질-상아질 경계(CDJ)<sup>2,8,12)</sup>로 잡는 것으로 되어 있다. 그러나 Kuttler<sup>2)</sup>는 이차백악질 및 이차상아질 침착에 따라 최협소부가 CDJ보다 약간 치수쪽으로 이동한다고 보고하였다. 이 최협소부까지의 근관장을 측정하기 위해 방사선 사진을 이용하는 방법이 주로 사용되고 부가적으로 측각을 이용하는 방법이 사용되기도 하였으나, 후자의 경우는 술자의 임상적인 경험과 숙련도에 따라 차이가 많고 부정확하므로 추천할만한 방법이 되지 못하며, 전자의 경우는 현재까지도 가장 많이 사용되고 있으며 가장 신뢰할 수 있는 방법으로 인정되고 있으나, 상의 변형, 판독의 주관성 및 해부학적 구조의 중첩등으로 인한 판독상의 어려움을 문제점으로 들 수 있다<sup>3)</sup>. 또한 근단공의 위치도 방사선학적 근침으로부터 0 mm에서 5 mm까지 편차가 다양하며, 특히 협설측으로 위치할 경우는 3차원적인 근단공의 위치를 2차원 방사선사진으로 정확하게 인지하기는 어렵다<sup>14,15,16)</sup>. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Suzuki<sup>17)</sup>, Sunada<sup>9)</sup> 등에 의해 치아 및 치주조직의 일정한 전기저항을 이용한 전자근관장측정기가 개발되었다. 이후로 전자근관장측정기는 직류저항형, 임피던스형, 주파수형(frequency type), 비율형(ratio type)등으로 발전되어왔다.

본 실험에 사용된 Root ZX는 최근에 개발된 비율형 전자근관장측정기로서, 이러한 비율형은 1994년 Kobayashi<sup>32)</sup> 등에 의하여 발견한 치아에서 측정주파수를 8kHz와 0.4kHz로 하고 근관내의 용액을 변화시키면서 두 주파수에 대한 impedance의 비를 측정한 결과, 이러한 비의

값은 근관내의 용액의 영향을 거의 받지 않고 일정하다는 것이 실험적으로 증명되었다. 이는 파일의 크기, 근단공의 직경, 전도성 근관세척액 등의 영향을 받지 않아 과거의 저항형 또는 임피던스형 기구들에 비해 정확도가 크게 증가된 것으로 보고되고 있다.

여러 가지형의 전자근관장 측정기의 정확도는 15~96%로 연구 방법에 따라 많은 차이를 보였다<sup>18,32-39)</sup>. 연구방법으로는 방사선사진으로 부터 구한 근관길이와 비교하는 방법<sup>35,38,39)</sup>, 발치후 file tip과 치근단공 사이의 거리를 실제로 측정하는 방법<sup>24,34,36,37)</sup>, in vitro 장치를 이용하여 발견한 치아에서 정확도를 구하는 방법<sup>28,29,32)</sup> 등이 있으며, 미리 정한 허용 범위 내에 들어가는 백분율을 계산하여 정확도를 평가하게 된다.

기존의 전자근관장 측정기의 정확도에 관한 연구에서 O'Neill<sup>34)</sup>은 임피던스형의 Sono-Explorer를 이용하여 32개 치아를 전자근관장 측정한 후, 발치하여 직접 측정한 근관장 측정치와 비교한 결과 83%에서 근단공까지의 거리가 일치한다고 보고하였고, McDonald와 Hovland<sup>23)</sup>는 Endocater를 이용하여 근관장을 측정한 후 발치하여 치아를 협설측으로 잘라 근침협착부를 현미경상에서 확인한 결과  $\pm 0.5\text{mm}$  범위내에서 93.4%의 정확도를 보였다고 보고하였으며, Frank와 Torabinejad<sup>35)</sup>는 주파수형인 Endex를 이용하여  $\pm 0.5\text{mm}$  범위 내에서 89.64%의 정확도를, Mayeda<sup>36)</sup> 등은 87.9%의 정확도를 보였다고 보고하였다. 김과 홍<sup>13)</sup>은 Endex와 Root ZX를 이용하여 근관장 측정후 발치하여 비교한 연구에서  $\pm 0.5\text{mm}$  범위 내에서 Endex인 경우가 82.5%, Root ZX의 경우가 87.5%의 정확도를 보인다고 보고하였고, Shabahang<sup>37)</sup> 등은 Root ZX를 이용하여 생활치에서 같은 방법으로 연구한 결과 96.2%의 높은 정확도를 보였다고 보고하였다. 또한 박과 윤<sup>38)</sup>도 방사선사진으로 구한 근관장과 비교한 결과  $\pm 1.0\text{mm}$  범위 내에서 95.2%의 높은 정확도를 보였다고 보고하였으나, 박등<sup>39)</sup>은 전자근관측정기로 구한 근관길이와 방사선사진으로 구한 근관길이를 비교한 결과 66%의 비교적 낮은 정확도를 보였다고 보고하였다.

본 실험에서는 Kobayashi 등<sup>32)</sup>, Foud 등<sup>28)</sup> 이 사용한 발거한 치아를 in vitro 장치에서 측정하는 방법을 택하였으며, 정확도는  $\pm 0.5\text{mm}$  범위 내에서 79.1%를 보였고,  $\pm 1.0\text{mm}$  범위 내에서는 96.5%의 정확도를 보여 다른 연구와 유사한 결과를 보였다.

근관장 측정시 널리 사용되고 있는 방사선 사진은 여러 가지 부가적인 해부학적, 병리적인 정보를 제공하는 장점이 있으나, 해부학적으로 다른 부위와 겹치는 상악대구치 등의 경우에 근침을 확인하기 어렵거나, 여러번의 방사선 사진 촬영을 요하여 방사선 피폭량이 증가하는 등 여러 가지 문제점을 지니고 있으며, 본 실험에서 사용된 비울형 전자근관장 측정기는 방사선상으로 불분명하게 보이는 부위의 근관장을 정확하고 손쉽게 구할 수 있고, 방사선 촬영회수를 줄이는 등 방사선 사진에 의한 근관장 측정의 단점을 보완할 수 있는 기구이다. 또한 기존의 다른 전자근관장 측정기보다 쉬운 근관상태에서도 정확하게 측정할 수 있을 뿐 아니라 조작도 간편하여 사용이 편리하고 시간과 노력이 적게 드는 장점이 있다. 그러나 이러한 전자근관장 측정기가 아직은 방사선법을 완전히 대체할 수는 없으나, 숙련된 근관치료 전문가의 촉각의 정확성이 64%인 것을 감안할 때 전자근관장 측정기 사용은 손쉬운 근관치료를 가능하도록 할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

전자근관장 측정기인 Root ZX의 정확도를 살피기 위하여, 발거한 86개의 상악대구치 구개측 치근을 백악법랑경계에서 횡절단하여, 각각의 치근을 생리식염수에 담근 후 전자근관장 측정기인 Root ZX를 이용하여 근관장을 측정하고 방사선 사진을 촬영하였다.

또한 파일을 근관내로 삽입하여 근단공에 도달하는 것을 육안으로 확인하여 근관장을 측정하였다. 그 후 Root ZX를 이용해 측정한 근관장과 육안으로 측정한 근단공까지의 거리를 상호 비교하였다. 또한 방사선 사진상의 파일 끝의 위치와 근침간의 거리를 측정하여 방사선

사진을 이용한 근관장 측정을 간접 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 전자근관장 측정기로 측정한 근관장은 육안으로 근단공까지 측정한 근관장에 비해 평균  $0.78 \pm 0.53 \text{ mm}$  짧게 측정되었고, 따라서 육안으로 근단공까지 측정한 근관장에서  $0.5 \text{ mm}$  뺀 육안에 의한 작업근관장보다는  $0.28 \pm 0.53 \text{ mm}$  짧았다.
2. 전자근관장 측정기로 위치시킨 파일 끝은 방사선 사진상의 근침에서  $0.85 \pm 0.49 \text{ mm}$  떨어진 곳에 위치하였다.
3. 육안에 의한 근단공에서  $0.5\text{mm}$  뺀 것을 작업근관장으로 할 때, 전자근관장 측정기의 근관장은  $\pm 0.5\text{mm}$  수준의 임상적인 허용오차범위내에 79.1%가,  $\pm 1.0\text{mm}$  범위 내에서는 96.5%가 분포되는 정확도를 보였다.

## 참 고 문 헌

1. Seltzer S, Bender IB, Turkenkopf S : Factors affecting successful repair after root canal therapy. J Am Dent Assoc, 52 : 652-655, 1963
2. Kuttler Y : Microscopic investigation of root apices. J Am Dent Assoc, 50 : 544-549, 1955.
3. Weine F : Endodontic therapy. 3rd ed. St. Louis : CV Mosby, 399-402, 1982.
4. Bramante CM, Berbert A : A critical evaluation of some methods of determining tooth length. Oral Surg, 37 : 463-73, 1974.
5. Tamse A, Kaffe I, Fishel D : Zygomatic arch interference with correct radiographic diagnosis in maxillary molar endodontics. Oral Surg, 50 : 563-5, 1980.
6. Coolidge ED : Anatomy of the root apex in relation to treatment problems. J Am Dent Assoc, 16 : 1456-1465, 1929.
7. Orban B : Why root canals should be filled to the dentinocemental junction. J Am Dent Assoc, 17 : 1086, 1930.

8. Christie WH, Peikoff MD : Direct impression technique sealing the apical foramen. *J Can Dent Assoc*, 3 : 174, 1980.
9. Sunada I : New method for measuring the length of the root canal. *J Dent Res*, 41 : 375-378, 1962.
10. Huang H : An experimental study of the principle of electronic root canal measurement. *J Endodon*, 13 : 60-63, 1987.
11. Fouad AF, Krell KV, McKendry DJ, Koorbusch GF, Olson RA : A clinical evaluation of five electronic root canal length measuring instruments. *J Endodon*, 16 : 446-449, 1990.
12. katz A et al. : Tooth length determination ; A review. *Oral Surg*, 72 : 238, 1991.
13. 김희정, 홍찬의 : 전자근관장 측정기의 정확도에 관한 연구. *대한치과보존학회지*, 21 (1) : 289-294, 1996.
14. Green D : Stereomicroscopic study of the root apices of 400 maxillary and mandibular anterior teeth. *Oral Surg*, 9 : 1224-1232, 1956.
15. Palmer MJ, Weine FS, Healey HJ : Position of the apical foramen in relation to endodontic therapy. *J Can Dent Assoc*, 37 : 305-308, 1971.
16. von der Lehr WN, Marsh RA : A radiographic study of the point of endodontic egress. *Oral Surg*, 35 : 105-109, 1973.
17. Suzuki K : Experimental study on iontophoresis. *J Jpn Stomatol*, 16 : 411-417, 1942.
18. McDonald NJ : The electronic determination of working length. *Dent Clin North Am*, 36(2) : 293-307, 1992.
19. Becker GJ, Lankelma P, Wesselink PR, Thoden van Velzen SK : Electronic determination of root canal length. *J Endodon*, 6 : 876-880, 1980.
20. Fouad AF, Krell KV : An in vitro comparison of five root canal length measuring device. *J Endodon*, 15 : 573-577, 1989.
21. Berman LH, Fleischman SB : Evaluation of the accuracy of the Neosono-D electronic apex locator. *J Endodon*, 10 : 164-169, 1984.
22. Busch LP, Chiat LR, Goldstein LG : Determination of the accuracy of Sono-explorer for establishing endodontic measuring control. *J Endodon*, 2 : 295-297, 1975.
23. Mc Donald NJ, Hovland EJ : An evaluation of the apex locator endocator. *J Endodon*, 16 : 5-8, 1990.
24. Keller ME, Brown CE, Newton CW : A clinical evaluation of the endocator-an electronic apex locator. *J Endodon*, 17 : 271-274, 1991.
25. Hasegawa K, Iltuka H, Takei M : Basic studies on electronic method for measuring root canal length. *J Dent Res*, 65 : 777, 1986.
26. Ushiyama J : Reliability and safety of the voltage gradient method of root canal measurement. *J Endodon*, 10 : 532-537, 1984.
27. Saito T, Yamashita Y : Electronic determination of root canal length by newly developed measuring device - influences of the diameter of apical foramen, the size of k-file and the root canal irrigants. *Dentistry in Japan*, 27 : 65-72, 1990.
28. Fouad AF, Rivera EM, Krell KV : Accuracy of the Endex with variations in canal irrigants and foramen size. *J Endod*, 19 : 63-67, 1993.
29. Czerw RJ, Michael S : In vitro evaluation of Endex electronic apex locator. *J Endod*, 21 : 572, 1995.
30. 이승종 : 전자 근관장측정기 사용에 있어서 근관세척액의 사용이 측정에 미치는 영향에 관한 연구. *대한치과보존학회지*, 15 : 127-133, 1990.
31. Ingle JI and Bakland LK : Endodontics,

- 4th ed. Baltimore, Williams & Wilkins, 194-197, 1994.
32. Kobayahi C, Suda H, Sunada I : New electronic canal measuring device based on the ratio method. *J Endodon*, 20 : 111-117, 1994.
  33. Chun CB, Zardiackas LD, Menke RA. : In vivo root canal length determination using the forameter. *J Endodon*, 7 : 515-20, 1981.
  34. O'Neill LJ : A clinical evaluation of electronic root canal measurement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 38 : 469-473, 1974.
  35. Frank AL, Torabinejad M : An in vivo evaluation of Endex electronic apex locator. *J Endodon*, 19 : 177-179, 1993.
  36. Mayeda DL, Simon JHS, Aimar DF, Finley K : In vivo measurement accuracy in vital and necrotic canals with the Endex apex locator. *J Endodon*, 19 : 545-8, 1993.
  37. Shabahang S, Goon WW, Glunskin AH : An in vitro evaluation of Root ZX electronic apex locator. *J Endodon*, 22 : 616-618, 1996.
  38. 박한수, 윤수한 : 주파수의존 근관장 측정기 Root-Zx의 정확성에 관한 연구. *대한치과 협회지*, 35 : 322-327, 1997.
  39. 박주현, 노병덕, 이승종 : 주파수의존형 전자근관측정기의 정확도에 관한 연구. *대한치과보존학회지*, 21 : 150-158, 1996.
  40. Cohen S, Burns RC : Pathways of the pulp, 6th ed. St Louis, Mosby, 200-201, 1994.
  41. Custer LE : Exact methods of locating the apical foramen. *J Natl Dent Assoc*, 5 : 815-818, 1918.