

전자 근관장측정기 사용에 있어서 근관세척제의 사용이 측정에 미치는 영향에 관한 연구

연세대학교 치과대학 보존학교실

이 승 종

Abstract

THE EFFECT OF THE CANAL IRRIGANTS ON THE ELECTRONIC WORKING LENGTH DEVICE

Seung - Jong Lee, DDS, MS

Dept. of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Yonsei University

Electronic working length determination is based on the electrical impedance between the root canal and the periodontal ligament. Different canal irrigants with different electric conductivity may effect on the accuracy of the electronic mechanism.

0.9% Saline, 2.5% NaOCl and 3% H₂O₂ were evaluated either in wet or in dry condition.

The results were as follows.

1. The electrical resistance measured by Impedence Meter (Model #253, portland, USA) were 1K Ω in 0.9% Saline, 0.1K Ω in 2.5% NaOCl and 48 K Ω in 3% H₂O₂.
2. Saline measured -0.57mm from the actual canal length and had significant difference. When dried with paper points, however, it measured -0.25mm demonstrating no statistical difference.
3. 2.5% NaOCl measured -4.07mm in wet and -2.26mm in dry condition and both showed significant difference from the actual canal length.
4. 3% H₂O₂ measured +0.02mm in wet and -0.09mm in dry canals and both appeared to be within acceptable range for the electronic working length mechanism.

I. 서 론

성공적인 근관치료는 정확한 치수강개방, 완전한 근관세정 및 3차원적인 밀폐에 있다. 이 모든 술식을 위한 기구조작은 이상적으로 상아백아경계(Cemento - Dentinal Junction)에서 행해져야 하는데¹⁾ 이는 치수가 바로 이 경계에서 종지하기 때문이다. 상아백아경계는 해부학적으로 근관의 가장

가는 부위를 형성하여 constriction point라고도 불리우며 근관내에 충전물이 압박될 때 충전제가 과충전 되지않고 근관벽을 향해 밀폐 될수 있도록 자연적인 받침대 역할을 해준다.

상아백아경계의 측정은 전통적으로 술자의 촉감이나 방사선사진을 통하여 행하여졌다²⁾. 그러나 손가락의 촉감은 대단히 불확실하고 방사선사진은 3차원적인 치근단모양을 단지 2차원적인 평면으로

*本 研究는 1989年度 文教部 學術研究助成費에 依하여 研究 되었음

보여주기 때문에 판독자의 주관에 많이 좌우되게 된다.^{2,5,10}.

따라서 정확한 치근단과 상아백아경계의 관계를 알기 위해서는 여러 각도의 방사선사진을 찍어야 하며 이것은 곧 많은 양의 방사선촬영을 필요로 하며 치료시간의 지연을 초래하고 환자에게 불필요한 방사능노출을 일으키게 한다. 설명 방사선적으로 정확한 길이를 채득했다 하더라도 많은 경우 실제의 치근단위치를 벗어난 결과를 보이는 경우가 많다.

Kuttler²³와 Green²⁴은 절반이상의 치아에서 치아의 해부학적인 근단공과 상아백아경계는 일치하지 않았으며 평균 약0.5mm정도의 오차를 보였다고 보고했다. 따라서 이러한 경우는 아무리 정확한 방사선 사진을 얻는다 하더라도 실제의 근단공을 확인하기는 매우 어렵게 된다.

1942년 Suzuki²⁵는 개 치아의 근관내에 삽입된 전극과 구강점막 사이에는 일정한 수준의 전기적 저항이 유지된다는 사실을 발견했다. Sunada²¹ 이러한 전기저항을 측정 한 결과 치근단과 구강점막 사이에는 평균 6.5K Ω 의 저항이 있었고 이 저항은 환자의 나이나 근관의 굵기 및 치아의 모양에 따라서도 일정하다고 보고했다.

Sunada의 연구 이래 수 많은 전자근관장측정기가 개발되어 사용되어 지고 있다.^{6,12,13,15}. 이러한 전자근관장측정기는 깨끗이 진조된 근관내에서 매우 정확하게 길이를 나타내는 것으로 보고되었다.^{3,10}. 그러나 이러한 장치가 혈액 조직액 등의 전도성 용액이 있는 근관내에서 사용될 때는 효용성에 있어서 많은 제한을 받게 된다.^{1,10}. 이러한 상황에서는 근관내 전극이 실제 근단공에 도달하지 않았어도 근관내의 전도성 용액에 접촉함으로써 마치 치근단에 도달한것과 같이 저항을 낮추어 판독에 오류를 주게 된다. 최근에 Hasegawa^{7,8,9} Ushiyama^{16,17,22}은 근관내에 사용하는 탐침을 절연물질로 피 개하여 근관내 용액으로부터 격리한 후 침단부분만 노출시키는 방법을 개발한 바 있다. 이들에 의하면 탐침의 노출부는 전체 탐침의 표면적에 비하면 매우 작기 때문에 치근단공에서 변화하는 전기적 저항의 차이를 더 섬세하게 포착할 수 있다고 주장한다.

이와같이 근관을 하나의 가늘고 긴 관으로 생각할 때 근관내 전기저항은 근관의 길이, 굵기 외에도 근관내 용액의 전도성과 밀접한 관계를 가지게 된다. 근관내에서 사용되는 세척액으로는 주로

NaOCl이 있다. NaOCl은 근관내에서 유기물잔사를 용해하고 항균작용을 하는 등의 중요한 역할을 하지만 매우 높은 전도성을 가지고 있다. 만일 이러한 높은 전도성을 가진 약제가 근관내에 남아 있는 상태에서 전자근관장측정기를 사용한다면 근관장측정에 있어서 상당한 오차를 보일 수 있게 된다. 모든 용액은 각각의 다른 전도성을 가지고 있고 따라서 전자근관장측정기를 사용할 때에는 근관내 용액의 사용에도 주의를 요하게 된다.

본 실험의 목적은 전자근관장측정기를 사용하는 데 있어서 3종의 다른 근관용액 0.9% NaCl, 3% H₂O₂ 및 2.5% NaOCl이 어떠한 영향을 미치는지를 발견된 치아를 이용한 실험모델상에서 비교하기 위함이다.

II. 실험 방법

1. 치아 및 실제근관장 측정

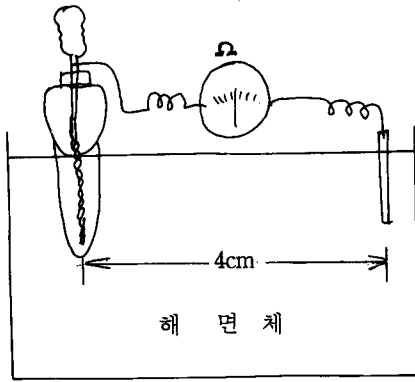
25개의 우식이나 금속충전이 없는 전치나 소구치를 사용하였다.

통법에 따라 치수강을 개방한 후 치근단공을 겨우 통과하는 크기의 file을 선택하여 치근단공에 일치시킨 후 러버스톱을 이용하여 길이를 측정 한 후 다시 0.5mm를 빼내어 실제근관장으로 정했다.

0.5mm 삭감은 해부학적 근단공으로부터 이상적인 상아백아경계부가 약 0.5mm 내부에 존재한다는 점을 감안한 것이다. 근관의 내부는 확대하지 않고 치아마다 동일한 조건을 부여하기 위해 가볍게 내용물을 제거해 주었다.

2. 실험 모델

길이 5cm 폭 2cm 높이 4cm의 플라스틱 상자에 해면체(꽃꽂이용 흡수제, 일명 오아시스)를 맞추어 넣고 0.9% 식염수로 침윤시킨 후 그림 1과 같이 한쪽 끝에 전자근관장측정기(NeoSono-D, Amadent Cherry Hill, NJ, USA)의 한쪽전극을 삽입하고 전극으로부터 약 4cm되는 부위에 치아의 치근부를 치경부가 잠길 정도로 매식했다. 이러한 실험모델은 NeoSono-D의 tuning을 40에 맞추고 file이 근단공에 도달했을 때 0의 수치를 보여 실제 치조골의 상태와 매우 근사한 저항을 보였다.



〈그림 1〉 플라스틱 상자내에는 식염수가 침윤된 해면체로 채워졌고 치아와 다른쪽 전극은 4cm의 거리임.

Table 1.

SAMPLE	W.L	I. SALINE		II. NaOCl		III. H ₂ O ₂	
		wet	dry	wet	dry	wet	dry
1	22.3	22.3	22.7	22.2	22.5	22.7	22.2
2	21.5	22.2	22.2	19.0	19.5	23.0	22.0
3	23.8	24.2	24.2	21.3	21.7	24.2	24.2
4	23.0	23.3	22.2	21.7	18.5	23.2	23.2
5	21.8	19.8	21.0	17.0	18.5	20.5	20.5
6	21.0	21.2	21.0	15.5	20.5	21.2	21.3
7	26.2	26.3	26.5	25.0	25.5	26.5	26.5
8	22.5	20.5	21.8	20.5	20.0	22.2	21.7
9	22.2	22.8	22.2	16.8	21.8	22.8	22.7
10	22.8	21.7	22.5	17.5	18.8	22.0	21.8
11	24.2	24.0	24.2	16.5	23.2	24.5	24.2
12	23.2	23.7	22.2	12.0	20.3	22.8	21.8
13	26.7	25.5	26.5	18.8	22.7	27.0	27.0
14	22.0	21.5	22.3	21.5	21.5	22.5	22.7
15	22.5	22.9	22.9	14.7	19.0	23.2	22.7
16	21.7	21.7	21.7	20.0	20.9	22.2	21.7
17	24.0	23.5	23.5	17.7	23.5	24.7	24.4
18	22.8	18.8	18.8	12.8	16.6	19.3	22.6
19	21.6	17.8	21.3	17.6	19.6	21.0	21.3
20	20.8	20.8	21.3	19.6	19.8	21.3	21.1
21	26.4	26.4	26.2	25.4	24.7	26.7	26.7
22	22.7	22.2	22.2	19.9	21.4	23.0	22.5
23	22.4	22.4	22.7	22.4	22.0	23.0	23.0
24	22.6	21.3	22.5	16.6	19.3	22.6	21.8
25	24.0	23.6	23.8	20.5	22.2	24.2	23.8
AV	22.988	22.416	22.736	18.916	20.832	23.012	22.896
± SD	± 1.569	± 2.079	± 1.776	± 3.361	± 2.143	± 1.844	± 1.725

3. 실험용액 및 측정방법

실험용액은 근관내에서 주로 사용되는 세가지 즉 0.9% 식염수, 2.5% NaOCl 및 3% H₂O₂를 사용했다. 근관장의 측정에는 세척액을 건조시키지 않은 습근관과 페파포인트로 건조한 건근관으로 나누어 실시되었다.

먼저 실험치아의 근관은 0.9% 식염수로 세척하고 주사기의 plunger를 뒤로 후퇴시켜 근관내 세척액을 대강 제거했다. 치아를 실험모델에 재식한 후 file을 삽입하여 측정기의 수치가 0을 지시 할 때까지 전진시켜 러버스톱을 이용하여 습근관의 길이를 얻었다. 페파포인트로 근관을 건조시킨 후 같은 요령으로 길이를 측정하여 건근관의 길이를 얻었다.

다음, 치아를 실험모델로부터 분리하여 3% H₂O₂로 충분히 근관을 관개한 후 역시 주사기 plunger를 후퇴시켜 실험모델에 재식한 후 습근관과 건근관의 길이를 측정했다. 2.5% NaOCl도 같은 요령으로 습근관과 건근관의 길이를 구했다.

각각의 길이는 육안적으로 확인된 실제근관장과 비교한 후 student's t 검증을 이용, 통계처리 하였다.

III. 실험 성적

이상의 실험에서 다음과 같은 결과를 얻었다(Table 1).

각 실험군의 측정결과를 실제근관장과 비교하였을 때 0.9% 생리식염수 습근관은 평균 약 0.57mm의 짧은 측정을 보여 실제근관장과 유의한 차이를 보였다(Table 2). 그러나 페파포인트로 건조했을 때는 실제근관장과 유의차가 없었다.

Table 2.

실험군		실제근관장과의 차이 (mm)	P-value (Paired t-test)
0.9% 생리식염수	습근관	-0.572	0.030 *
	건근관	-0.252	0.175
2.5% NaOCl	습근관	-4.072	0.000 *
	건근관	-2.156	0.000 *
3% H ₂ O ₂	습근관	+0.024	0.899
	건근관	-0.092	0.443

* 통계적인 유의차 있음 (Significance level=0.05).

2.5% NaOCl 사용군에서는 습근관에서 4.07mm, 건근관에서 2.16mm의 오차를 보였고 통계적으로 모두 유의했다. 3% H₂O₂ 사용군에서는 습근관 건근관 모두 실제근관장과 유의한 차이를 보이지 않았다.

세가지 용액의 습근관 간의 비교를 보면 모두 현저한 차이를 보이는데(Table 3) 평균차이를 볼때 H₂O₂가 +0.02mm로 실제 근관장과 가장 근사한 차이를 보였고 다음이 생리식염수 -0.57mm NaOCl이 -4.07mm로 NaOCl 습근관에서 가장 큰 오차를 보였다.

Table 3.

습근관 간의 비교 (paired t-test)

	Saline	NaOCl	H ₂ O ₂
Saline			
NaOCl	0.000 *		
H ₂ O ₂	0.001 *	0.000 *	

* 통계적인 유의차 있음 (Significance level=0.05).

전자근관장 측정기를 사용하기 전 근관을 페파포인트로 건조시킨 결과를 비교하기 위해 행해진 건근관 사이의 비교에서는 생리식염수와 H₂O₂ 사이에 유의차가 없었다(Table 4). 이는 Table 1에서도 보였듯이 실제 근관장과의 비교에서도 차이가 없었다. 그러나 NaOCl군에서는 건조 후에도 역시 현저한 차이가(P=0.000) 나타나 NaOCl의 측정오차에 관한 가능성을 말해준다.

Table 4. 건근관 간의 비교 (paired t-test).

	Saline	NaOCl	H ₂ O ₂
Saline			
NaOCl	0.000 *		
H ₂ O ₂	0.384	0.000 *	

* 통계적인 유의차 있음 (Significance level=0.05).

IV. 총괄 및 고찰

전자근관장 측정기를 사용하여 상아백아경계를 측정하는데 있어서 오차를 가져오는 원인으로는 완전히 제거되지 못한 치수잔사나 혈액 또는 조직액^{1,3)}, 치근단협착(Apical Constriction)의 발육여부³⁾,

근단공의 폐쇄여부^{3,10)}, 근관의 건조상태^{3,10)}, 치수의 생활도여부등^{1,4)}이 열거되어져 왔다.

혈액이나 조직액 또는 치수잔사가 남아있는 경우 대개 실제길이보다는 짧은 측정치를 보인다. 이는 이러한 근관내의 물질들이 조직과 비슷한 전도성을 가지고 있음으로 해서 미처 file이 치근단에 도달하기도 전에 전류를 흐르게 함으로써 file과 구강 점막간의 저항치를 낮추기 때문이다.

본 실험에 사용된 0.9% 생리식염수의 경우도 실제근관장과 비교할 때 약 0.57mm정도 짧은 수치를 기록하여 통계적으로 유의한 차이가 있음을 보여 주고 있다(Table 1, 2).

그러나 근관을 폐파포인트로 건조시켰을 때 오차는 0.25mm로 줄어 들었고 실제근관장과 유의할 만한 차이는 없었다. 이는 전자근관장측정시 근관내를 깨끗이 건조시키고 치수잔사를 잘 제거해주면 측정시의 오차를 줄일 수 있다는 Becker Berman Huang 등의 보고와 일치하는 것으로 실제 임상에서도 같은 경험을 하는 것을 알 수 있다.

그러나 근관의 건조는 치근단의 상태, 즉 계속적인 출혈이나 배농 등에 따라 달라지기 때문에 실험에서처럼 항상 일정한 상태를 유지한다는 것은 대단히 어려운 일이다. 이러한 문제점을 극복하고자 Ushiyama 등^{16, 17, 22)}은 전자근관장측정기 사용시 근관내에 생리식염수를 가득 채운상태에서 탐침을 절연물질(Varnish)로 피개한 후 첨단부분만을 노출시키는 방법으로 근관내에서의 저항변화를 민감하게 측정하는 방법을 고안해 낸 바 있다. Hasegawa^{7, 8, 9)} McDonald 등¹⁴⁾은 이러한 방법을 이용해 측정 오차를 0.1mm전후까지 줄이는데 성공했으나 역시 미완성치근이나 근단부협착 (Apical Constriction)이 충분히 발달하지 못한 근관에서는 실제길이보다 상당히 큰 측정오차를 보였다.

2.5% NaOCl은 근관내에서 소독효과와 유기물 잔사를 분해하기 위한 목적으로 자주 사용되는 약물이다. 이러한 NaOCl은 그러나 전자근관장측정기 사용시 많은 오차를 보이는 것으로 보고되었다¹⁸⁾. Ushiyama 등^{16, 17)}도 NaOCl과 같은 염소화합물은 금속표면에 대한 염소화작용에 의해 전기적인 성질을 변화시킨다고 주장했다. 그는 실험용 플라스틱내에 형성된 인공근관에 탐침을 삽입한 후 전류량을 측정하면서 근관내에 한방울의 10% NaOCl을 넣었을 때 전류량이 약 두배정도 증가하는

것을 볼 수 있었다. 따라서 NaOCl은 전자근관장측정기와 함께 사용 될때 실제 길이 보다 상당히 짧은 측정을 보일 수 있다는 것을 예측할 수 있다.

본 실험에서도 예비실험을 통해 NaOCl의 낮은 저항치를 볼 수 있었다. 일정한 조건에서 저항측정기 (Impedance Meter Model #253 Electro Scientific Industries USA)를 사용해 측정한 결과를 보면 0.9% 생리식염수가 1 K Ω (ohm)일때 2.5% NaOCl은 0.1K Ω 으로 생리식염수와 비교했을 때 1/10정도로 나타났다. 이러한 NaOCl의 높은 전도성에 의한 측정오차는 실험결과에서 분명히 나타나는데 Table 2 에서 볼때 NaOCl 습근관은 실제 근관장보다 약 4mm정도 짧은 측정을 보였고 이것은 통계적으로 매우 유의했다(P=0.000). 폐파포인트로 건조한 상태에서도 마찬가지로 실제 근관장보다 약 2.2 mm정도 짧은 측정을 보였고 이것은 실제근관장과 비교할때 또 다른 건근관과 비교할때 모두 현저한 유의차가 있음을 보여주고 있다(Table 2, 4). 건조된 상태에서도 현저한 오차가 있었던 것은 아마 근관이 완전히 건조되지 않고 치근단 부위에 약간의 용액이 남아 있었기 때문이 아닌가 추측된다.

실제 NaOCl 건근과 25개의 측정결과를 각각 근관의 굵기와 대조해 보았을 때 1개 치아에서는 실제근관장보다 오히려 0.2mm 긴 길이를 보였고 6개 치아에서 0.5mm 이내의 오차를 보였는데 이상의 7개 치아중 5개가 비교적 짧은 근관을 가지고 있었던 것으로 보아 짧은 근관에서는 폐파포인트에 의한 건조가 치근단부위까지 완전히 이루어졌을 것이고 따라서 근관내에는 전도성이 강한 NaOCl이 제거되어 탐침이 근단부에 이르러서야 비로소 저항이 감소되었던 것으로 풀이된다.

이것은 한편으로 근단공의 굵기 측면에서도 고려할 수 있는데 Huang, Berman 등^{3, 10)}은 근단공의 굵기가 정확한 측정에 대단히 중요한 역할을 한다고 주장하면서 미완성치근에서는 근단부협착에서의 저항변화를 감지하지 못하기 때문에 실제길이보다 큰 오차를 가진다고 했다. Huang¹⁰⁾은 이러한 미완성치근을 밀랍으로 밀폐시켜 구경을 작게한 결과 내용물에 구애받지 않고 정확한 측정을 할 수 있었다고 보고했다. 따라서 전자근관장측정실험은 실험모델의 조건에 따라 상당히 많은 차이를 보이고 있다.

3% H₂O₂ 역시 근관치료시 자주 사용되는 약물

로써 주로 NaOCl과 교대로 사용하여 발생기산소를 생성하려는 목적이나 근관내출혈을 억제하기 위해 사용된다.

H₂O₂는 이미 O'Neill¹⁰⁾에 의해 근관내 사용시 좋은 결과를 보인다고 보고된 바 있다. 전술한 방법대로 측정된 저항치를 보면 0.9% 생리식염수가 1KΩ일때 H₂O₂는 58 KΩ을 보여 무려 58배나 높은 저항을 보였다. 이러한 높은 저항치가 말해주듯이 본 실험에서도 습근관간의 비교에서(Table 3) 다른 두 용액보다 현저하게 다른 측정을 보였으나 실제근관장과 비교할때는 0.02mm 긴 수치로 유의차가 없었다. Table 2 에서 보면 습근관과 실제근관장과의 비교에서는 유일하게 H₂O₂군이 실제길이에 가장 근사한 결과를 보이고 있다. 건조된 근관에서는 0.09mm정도가 실제근관장보다 짧았고 역시 통계적인 유의차는 없었다. 흥미로운것은 H₂O₂에서는 습근관의 경우 탐침이 근단공에 도달하기 전까지 저항의 수치가 높게 유지되다가 탐침이 근단부협착에 도달하는 순간 저항이 급격히 떨어지는 현상을 보였다. 이것은 NaOCl과는 반대로써 NaOCl에서는 근관입구까지 탐침이 도달한 순간 이미 상당한 저항수치의 하락을 보이고 근단공에 도달하기 상당히 전에 이미 제한치까지 떨어져 두 용액이 근관내에서 전자측정기에 어떻게 작용하는지를 보여준다.

V. 요약 및 결론

전자근관장측정기를 사용하는데 있어서 세가지 다른 근관세척액 0.9% 생리식염수, 2.5% NaOCl 및 3% H₂O₂가 측정결과에 어떠한 영향을 미치는지를 조사한 실험에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 같은 조건에서 저항측정기 (Impedance Meter)로 측정한 결과에서 0.9% 생리식염수를 1KΩ(ohm)으로 했을 때 2.5% NaOCl은 0.1KΩ으로 생리식염수의 1/10, 3% H₂O₂는 48 KΩ으로 생리식염수의 48배의 저항치를 보였다.

2. 생리식염수는 습근관에서는 약 -0.57mm의 짧은 측정으로 실제근관장과 차이가 있었으나 폐포포인트로 건조 했을 때는 -0.25mm로 전자근관장측정기 사용에 영향을 주지 않았다.

3. 2.5% NaOCl은 습근관에서 -4.07mm 건근관

에서는 -2.16mm로 모두 실제근관장과 큰 차이를 보였다. 건근관에서도 큰 오차가 생긴 것은 근관의 불충분한 건조에서 기인된 것으로써 근관이 완전히 건조될 수 있었던 짧은 근관에서는 실제근관장과 상당히 근사한 결과를 보였다.

4. 3% H₂O₂는 습근관에서 +0.02mm 건근관에서 -0.09mm의 오차로 실제근관장과 측정에 있어서 차이를 보이지 않았다.

참 고 문 헌

1. Becker G.J., Lankelma P., Wesselink P.R. : Electronic determination of root canal length. JOE vol 6, No 12, 876-880, 1980.
2. Blank L.W., Tenca J.L., Pelleu G.B. : Reliability of electronic measuring devices in endodontic therapy. JOE vol 1 No4, 141-145, 1975.
3. Berman L.H., Fleischman S.B. ; Evaluation of the accuracy of the neosono-D electronic apex locator. JOE vol 10, no 4, 164-167, 1984.
4. Busch L.P., Chiat L.R., Goldstein L.G. : Determination of the accuracy of the Sono-Explorer for establishing endodontic measurement control. JOE vol 2, no 10, 295-297, 1975.
5. Chunn C.B., Zardiackas L.D., Menke R.A. : In vivo root canal length determination using the Foramer. JOE no 7, vol 11, 515-520, 1981.
6. Dummer P.M.H., Lewis J.M. : An evaluation of the endometric probe in root canal length estimation. Int Endo J vol 20, 25-29, 1987
7. Hasegawa K., Iitsuka H., Takei M. : Clinical application of "Endo Tape". J Dent Res vol 63, 563, 1984.
8. Hasegawa K., Iitsuka H., Takei M. : A new method and apparatus for measuring the root canal length. J Dent Res vol 64, 1530, 1985.
9. Hasegawa K., Iitsuka H., Takei M. : Basic studies on electronic method for measuring root canal length. J Dent Res vol 65, 777, 1986.
10. Huang L. : An experimental study of the principle of electronic root canal measurement. JOE vol 13 no 2, 60-64, 1987.
11. Ingle J.I., Taintor J.F. : Endodontics. Third edition,

- 169, Lea & Febiger.
12. Inoue N. : An audiometric method for determining the length of root canals. *J Cannad Dent Assn* no 9, 630-636, 1973.
 13. Inoue N., Skinner D.H. : A simple and accurate way of measuring root canal length. *JOE* vol 11 no 10, 421-427, 1985.
 14. McDonald NJ., Hovland E.J. : An evaluation of the apex locator Endocator. *JOE* vol 16 no 1, 5-8, 1990
 15. Nahmias Y., Aurelio J.A., Gerstein H. : An in vitro model for evaluation of electronic root canal length measuring devices. *JOE* vol 13 no 5, 209-214, 1987.
 16. Ushiyama J. : Reliability and safety of the voltage gradient method of root canal measurement. *JOE* vol 10 no 11, 532-537, 1984.
 17. Ushiyama J. : New principle and method for measuring the root canal length. *JOE* 9 no 3, 97-104, 1983.
 18. O'Neill LJ : A clinical evaluation of electronic root canal measurement. *Oral Surg* vol 38 no 3, 469-473, 1974.
 19. Plant J.J., Newman R.F. : Clinical evaluation of the Sono-Explorer. *JOE* vol 2 no 7, 215-216, 1976.
 20. Seidberg B.H., Alibrandi B.V., Fine H. : Clinical investigation of measuring working lengths of root canals with an electronic device and with digital-tactile sense. *JADA* vol 90, 379-387, 1975.
 21. Sunada I. : New method for measuring the length of the root canal. *J Dent Res* vol 42 no 2, 375-387, 1962.
 22. Ushiyama J., Nakamura M., Nakamura Y : A clinical evaluation of the voltage gradient method of measuring the root canal length. *JOE* vol 14 no 6, 283-287, 1988.
 23. Kuttler Y. : Microscopic investigation of root apices. *JADA* vol 50, 544, 1955.
 24. Green D. Stereomicroscopic study of 700 root apices of maxillary and mandibular posterior teeth. *Oral Surg* vol 13, 728, 1960.
 25. Suzuki K. : Experimental study on iontophoresis. *J Jap Stomatol Soc*, vol 16, 411, 1942.