

근관치료용 전기모터의 회전 안정성 평가

박세희^{1*} · 서현우² · 홍찬의³

강릉원주대학교 치과대학 ¹치과보존학교실, ²소아청소년치과학교실, ³플랜트 치과병원 치과보존과

ABSTRACT

AN EVALUATION OF ROTATIONAL STABILITY IN ENDODONTIC ELECTRONIC MOTORS

Se-Hee Park^{1*}, Hyun-Woo Seo², Chan-Ui Hong³

¹Department of Conservative Dentistry, ²Department of Pediatric Dentistry, College of Dentistry, Gangneung-Wonju National University, Wonju, Korea, ³Department of Conservative Dentistry, Plant Dental Hospital, Daejeon, Korea

The purpose of this study was to evaluate a rotational stability of endodontic electronic motors by comparing the changes of rotational speed, depending on the number of usages and with/without static load. Twelve new endodontic electronic motors were used in this study. Non contact type digital tachometer was used for measuring the rotational speed of handpiece. True RMS Multimeter was used for measuring the voltages and the electric currents. All measurements were recorded every 10 seconds during 10 minutes and repeated 9 times. Five repetition was done per each electronic motor. To statistical analysis, student t-test, repeated measures and Scheffé's post-hoc tests were performed. In the same motor group, there was no significant difference in all measurements. In all groups, there was no significant difference in the amount of rotational speed changes depending on the number of usages and with/without static load. In the limitation of this study, the results showed that all kinds of endodontic electronic motors in this study had an established rotational stability. Therefore they could be safely used in root canal treatment with a reliable maintenance of rotational speed, regardless of the number of usages and with/without load. [J Kor Acad Cons Dent 35(4):246-256, 2010]

Key words: Rotational stability, Electronic motor, Rotational speed, RPM, Endomate TC, X-Smart

-Received 2010.4.28., revised 2010.5.12., accepted 2010.6.11.-

I. 서 론

좁고 만곡된 근관의 3차원적인 충전을 위한 근관형성과정은 근관치료의 성공을 위한 가장 중요한 과정으로, 근관 내 치수잔사 및 감염 상아질을 제거하고, 근단공을 가능한 한 작게 보존하면서, 치경부로 갈수록 넓어지는 깔대기 모양을 만들어줘야 한다.¹⁾ 근관의 해부학적 구조는 매우 다양하고,

거의 모든 부분에서 만곡이 있으며 보기에 직선이 근관조차도 근단부 1/3 에서는 만곡이나 불규칙한 구조를 가지고 있다.²⁾ 근관의 만곡도가 증가 할수록 근관형성 시 근관이 직 선화되는 경향이 있어 ledge, zip, 근관천공, 근관변이 등의 가능성이 커져 이상적인 근관형성에 많은 어려움이 따른 다.^{3,4)} 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 다양한 근관형성 방법과 근관기구의 발전이 계속되어 왔으나, 유연성과 경사도가 적은 stainless steel (SS) 파일로 경사도가 큰 근관을 형성해야 하므로 과정이 복잡하고, 숙련되기까지 많은 노력이 필요하며, 근관의 크기와 경사도를 조절하기가 힘든 단 점이 있다.⁵⁾

1988년 Walia 등⁶⁾에 의해 Nickel Titanium (NiTi) 합금으로 근관형성용 파일이 제작된 이래로 높은 유연성과 파

*Corresponding Author: **Se-Hee Park**
Department of Conservative Dentistry College of Dentistry, Gangneung-Wonju National University,
123 Chibyon-dong Gangwon-do, Korea
Tel: +82-33-640-2760 Fax: +82-33-640-3103
E-mail: drendo@gwnu.ac.kr

※이 논문은 2007년도 강릉원주대학교치과병원 협동임상연구비(2007-0234) 지원에 의하여 수행되었음.

절저항성 등의 장점을 가지고 있는 NiTi 파일이 SS 파일을 대신하여 광범위하게 사용되고 있다. 일반적으로 NiTi 파일은 SS 파일에 비해 근관형성 능력이 우수하다고 여겨지고 있으며, Glosson 등⁷⁾은 NiTi 파일이 SS 파일에 비해 근관의 중심을 유지하는 능력이 더 뛰어나며, 더 둥근 형태의 근관을 형성할 수 있고, transportation이나 ledge를 줄일 수 있다고 하였고, Serene 등⁸⁾은 기존의 SS 파일에 비해 NiTi 파일을 사용한 경우 근관형성 시간을 20% 단축할 수 있으며, 구치부에서 근관형성 시 유의할 만한 향상이 있었다고 보고한 바 있다.

이러한 NiTi 파일들의 장점들로 인해 지난 15년간 회전식 NiTi 파일들은 전문가들의 기본 장비가 되었고, 근래에는 전문가뿐만 아니라 일반의들 사이에서도 용이한 근관형성을 위해 널리 사용되고 있다.⁹⁾ 그러나 회전식 NiTi 파일들의 사용이 점점 증가됨에 따라, 파일의 파절은 보다 빈번하게 발생하는 경향이 있고,^{10,11)} 근관세정과 근관형성, 근관 충전의 목적을 방해하는 중요한 요인으로 작용하여,^{1,12)} 근관치료의 결과에 악영향을 미칠 수 있다.^{10,13-15)} 또한 파일의 파절은 예상하지 못한 상황에서 갑작스럽게 발생하고, 파절 후 제거하거나 우회하는데 상당한 시간과 노력이 소요되어 임상가들에게 정신적 피로를 가중시키게 되므로¹⁶⁾ 파절을 예방하는 것이 최우선이라고 할 수 있다. 그러나 SS 파일과 달리 NiTi 파일은 날이 풀어지거나 예각으로 꺾이는 현상과 같이 시각적인 삭제 날의 어떠한 변형 없이도 파절되어, 육안으로 NiTi 파일을 평가하는 방법만으로는 NiTi 파일의 수명을 예측하기 어렵다는 문제가 있다.¹⁶⁾

2002년 Cohen 등¹⁷⁾은 회전속도는 NiTi 파일의 변형이나 파절에 영향을 미치는 중요한 요인이고, 회전식 NiTi 파일은 stress fracture (피로파절)를 방지하기 위해서 항상 일정한 속도로 사용되어야 하며, air-driven 모터에 비해 보다 일정하고 정확한 회전속도를 유지할 수 있는 전기모터의 사용을 권장하였다.

최근에 임상가들 사이에서 널리 사용되고 있는 무선 전기모터는 기존의 유선 전기모터들에 비해 저렴하고, 가벼우며, 선이 없어 사용하기가 편리하다는 장점이 있다. 이들 무선 전기모터에서 전원으로 사용되는 충전식 배터리는 여러 조건들에 의하여 출력의 변동이 있을 수 있으며, 이는 air-driven 모터에서 공기압의 변화와 유사하다고 볼 수 있다. 2003년 Yared 등¹⁸⁾은 air-driven 모터에서 공기압의 저하는 회전속도의 감소를 유발시키고, 회전기구의 삭제력의 저하를 초래하여, 파일의 파절이나 변형을 야기할 수 있다고 보고하였는데, 무선 전기모터를 이용한 근관형성과정에서 충전식 배터리의 출력변화에 따른 회전속도의 변화도 이와 같은 결과를 야기할 수 있다고 생각되어진다.

회전식 NiTi 파일을 이용한 근관형성 시 제조사는 일반적으로 250-350 rpm의 회전속도를 지켜줄 것을 요구하고 있

다. 그러나 국내외 여러 실험들에서, 기준 회전속도(rpm) 범위 내에서 발생하는 NiTi 파일의 파절이나 변형이 회전속도에 따라 주목할 만한 차이가 있음을 밝힌 바 있고,^{19,20-22)} 회전속도와 근관형성기구의 파절에 대한 관계에 대해 연구할 필요성이 있음을 지적하고 있다.^{19,23)} 또한 최근의 여러 연구에서 근관치료용 전기모터의 실제 출력이 미리 설정한 값과 다르다는 것을 보고하고 있으나,²⁴⁻²⁶⁾ 근관치료용 전기모터의 반복사용이나 하중 유무에 따른 회전속도의 변화에 대한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 근관치료용 전기모터들의 반복적인 사용과 하중의 유무에 따른 실제회전속도를 측정하고, 반복 사용과 시간에 따른 회전속도의 변화를 비교하여 근관치료용 전기모터의 회전 안정성을 평가하고자 하였다.

Ⅱ. 연구재료 및 방법

1. 실험장비 및 설정

상품으로 판매되어 사용한 적이 없는 4종의 근관치료용 전기모터 각 3대씩 총 12대를 대상으로 하였으며, 유선 전기모터인 TECNIKA (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland)와 AEU-25 (Aseptico inc., Woodinville, WA, USA), 유무선 겸용 전기모터인 X-Smart (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland), 무선 전기모터인 Endomate TC (NSK Nakanishi inc., Tochigi, Japan)을 사용하였다.

각 전기모터의 설정치와 측정종류는 다음과 같다. TECNIKA는 1:16의 감속비를 가지는 ATR-16M (Advanced Technology Research, Pistoia, Italy) 핸드피스를 장착하고, 300 rpm의 회전수와, 320 g/cm의 torque로 설정(최대 torque인 800 g/cm의 40%) 하였고, AEU-25는 1:8의 감속비를 가지는 AHP-88MN (10608MBP type, Anthogyr, Sallanches, France) 핸드피스를 장착하고, 300 rpm의 회전수와, 320 g/cm의 torque 설정 후에 사용하였다. X-Smart는 1:16의 감속비를 가지는 F16R (NSK Nakanishi inc., Tochigi, Japan) 핸드피스를 장착하였고, AC adapter와 충전식 배터리를 전원으로 이용한 두 종류의 전원에 따라 각각 300 rpm의 회전수와, 3.0 N/cm의 torque 설정 후에 사용하였다. Endomate TC는 1:16의 감속비를 가지는 NML-W (NSK Nakanishi inc., Tochigi, Japan) 핸드피스를 장착하고, 제조사의 지시에 따른 방법대로²⁷⁾ 312.5 rpm의 회전수와, 3.0 N/cm의 torque 설정 후에 사용하였다. 유선전원으로 안정된 전원 공급을 받는 TECNIKA와 AEU-25는 실제회전속도만을 기록하였으며, X-Smart와 Endomate TC는 실제회전속도와 전압, 전류를 기록하였다(Table 1).

Table 1. Motor preset values and measured item

	Motor Preset			Measured Item		
	Reduction ratio	rpm	Torque	Actual rpm	Voltages	Electric Currents
TECHNIKA	1 : 16	300	320 g/cm	✓		
AEU-25	1 : 8	300	320 g/cm	✓		
X-Smart P [†]	1 : 16	300	3.0 N/cm	✓	✓	✓
X-Smart B ^{††}	1 : 16	300	3.0 N/cm	✓	✓	✓
Endomate TC	1 : 16	312.5	3.0 N/cm	✓	✓	✓

[†] P: Power supplied from AC adapter

^{††} B: Power supplied from rechargeable battery

회전속도의 측정은 비접촉식 회전계인 TM-5000 (Line Seiki Co., Tokyo, Japan)을 이용하여 측정하였는데, 이 장비는 0.1 rpm의 해상도와 $\pm 0.001\% \pm 1 \text{ digit rpm} \cdot \text{m/min}$ 의 정확도를 가지고 있으며, 반사지에서 반사된 빛을 Photoelectric part에서 감지하여 회전속도를 표시하므로 실험도중에 장치의 위치변경이 없다는 장점이 있다.

전압과 전류의 측정은 듀얼채널로써 전압과 전류의 동시 측정이 가능하며 universal serial bus (USB)를 통하여 PC에의 data logging이 가능한 True RMS Multimeter인 EXTECH Model 380900 (Extech Instruments Corp., Waltham, MA, USA)를 이용하여 측정하였다.

2. 하중 부여

하중의 부여 여부에 따른 두 가지 조건 하에서 실험을 진행하였으며, 하중을 부여하지 않은(비하중하) 조건에서는 자유회전시의 변화를 측정 관찰하였고, 하중을 부여하는(정하중하) 조건에서는 회전식 기구의 회전에 따른 저항성을 평가하는 미국치과의사협회(ADA, American Dental Association)와 미국규격협회(ANSI, American National Standards Institute)의 No.28 규정에 따라 파일의 장축에서 30° 경사진 유리판에 파일의 첨단 5 mm가 구부러져 균일하게 접촉하도록 고정하고 회전에 따른 변화를 측정 관찰하였다.²⁸⁾

3. 분당 회전수 및 전압과 전류의 측정

모든 전기모터는 비하중하 회전과 정하중하 회전에서 시간에 따른 실제 회전수를 측정 기록하였고, 무선 전기모터는 실제 회전수와 내부 회로에서의 시간에 따른 전압과 전류를 측정 기록하였다(Table 1).

전기모터의 핸드피스 부분을 바이스를 이용하여 견고하게

고정을 하고 반사지를 붙인 원형 리버 디스크를 장착하였다. 비접촉식 회전계인 TM-5000을 반사지와 5 cm의 간격으로 마주보게 바이스를 이용하여 견고하게 고정하였다. 10초 간격으로 10분 동안의 기록과 5분의 휴식을 9회 반복하였으며, 각각의 전기모터 당 5번씩 측정하였다. 정하중하 회전시의 회전속도의 측정은 반사지를 붙인 리버 디스크를 ProFile (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) .06taper #25 파일의 shank 부위에 장착하고, 파일의 장축에서 30° 경사진 유리판에 파일 팁의 5 mm가 휘어진 채로 균일하게 접촉하면서 회전하도록 견고하게 고정한 후 측정하였다(Figure 1).

충전식 배터리를 전원으로 사용이 가능한 X-Smart와 Endomate TC는 실제회전속도를 측정하는 동시점의 전압과 전류 값을 측정하였는데, X-Smart는 AC adapter와 충전식 배터리 사용 시의 비교를 위해 내부회로에서 핸드피스의 마이크로 모터로 직접 연결되는 (+)전선과 (-)전선에 듀얼채널 멀티미터를 연결하여 측정하였고, 내부회로가 하나의 기관으로 되어 있는 Endomate TC는 전원 공급부를 따로 설치하고 내부회로로 전원이 공급되는 단자에 연결하여 측정하였다.

사용하는 충전식 배터리의 반복적인 사용과 충전에 따라 충전용량(charging capacity)이 감소되는 경향인 메모리 효과(memory effect)에 따른 영향을 최소화하기 위해서 각각의 무선 전기모터의 측정 후에 배터리 refresh 과정을 통하여 메모리 효과를 없게 하려고 최대한 노력하였다.

4. 회전속도와 전압 및 전류의 변화 분석

각 전기모터들의 실제회전속도를 설정회전속도와 비교하기 위해 student t-test를 시행하였고, 하중의 유무와 반복 사용에 따른 회전속도 및 전압, 전류의 변화를 알아보기 위해 two-way repeated measure와 Scheffe의 사후분석을

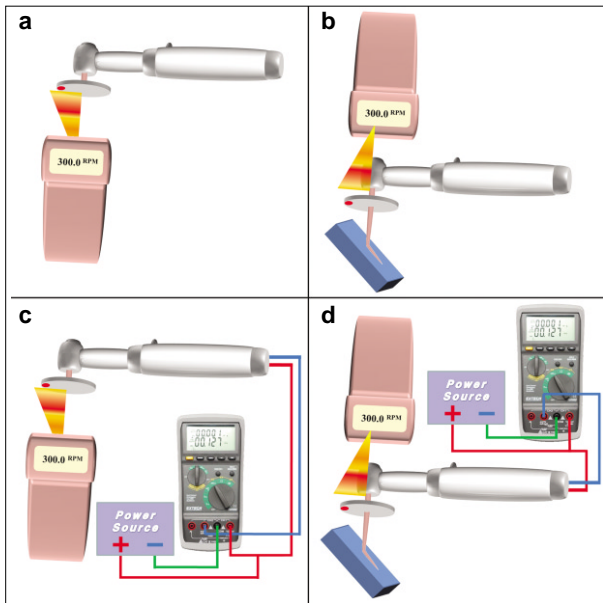


Figure 1. Diagram of measuring method.

- a: Measurement of TECNICA and AEU-25, under the unloading condition.
 b: Measurement of TECNICA and AEU-25, under the loading condition.
 c: Measurement of X-Smart and Endomate TC, under the unloading condition.
 d: Measurement of X-Smart and Endomate TC, under the loading condition.

시행하였다. 모든 통계는 SPSS™ version 15.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 95%의 신뢰구간에서 시행되었다.

Ⅲ. 연구결과

1. 실제회전속도

각 전기모터에서 측정된 실제회전속도는 Table 2와 같다. AEU-25를 제외한 모든 종류의 전기모터에서 제조사에서 지시한 설정회전속도보다 낮은 실제회전속도가 기록되었으며, 모든 전기모터의 실제회전속도는 설정회전속도와 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 한편 Endomate TC를 제외한 모든 전기모터에서 하중 부여 여부에 따른 실제회전속도의 차이는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나, Endomate TC는 정하중하 회전에서 통계적으로 유의하게 낮은 회전속도를 보였다($p < 0.05$).

2. 반복사용에 따른 회전 속도의 변화

동일 종류의 모터들 간의 반복측정분석을 통한 비교에서 동일 하중 조건에서 반복사용에 따른 회전속도의 변화는 통계적인 유의한 차이를 보이지 않아 동일 종류의 모터들 간에는 같은 회전속도의 변화를 보임을 알 수 있었다 (Table 3).

Table 3. P-values in changes of rotational speed in same kind of motors

	Unload	Load
TECNICA	1.000	1.000
AEU-25	0.988	0.339
X-Smart P [†]	0.473	0.085
X-Smart B ^{††}	0.974	0.936
Endomate TC	0.994	0.388

[†] P: Power supplied from AC adapter

^{††} B: Power supplied from Rechargeable battery

Repeated measure analysis, significantly different at $p < 0.05$.

Table 2. Mean values (\pm standard deviation) of actual rotational speed

	Load	Unload	Preset rpm
TECNICA	285.66 \pm 0.76 ^a	285.39 \pm 0.11 ^a	300
AEU-25	302.32 \pm 0.04 ^b	302.34 \pm 0.29 ^b	300
X-Smart P [†]	276.49 \pm 0.90 ^c	278.85 \pm 1.04 ^c	300
X-Smart B ^{††}	269.93 \pm 1.50 ^d	274.93 \pm 1.01 ^{cd}	300
Endomate TC	238.09 \pm 1.35 ^e	244.4 \pm 1.90 ^f	312.5

[†] P: Power supplied from AC adapter

^{††} B: Power supplied from Rechargeable battery

Student t-test analysis, significantly different at $p < 0.05$.

The different letter means significant difference between groups.

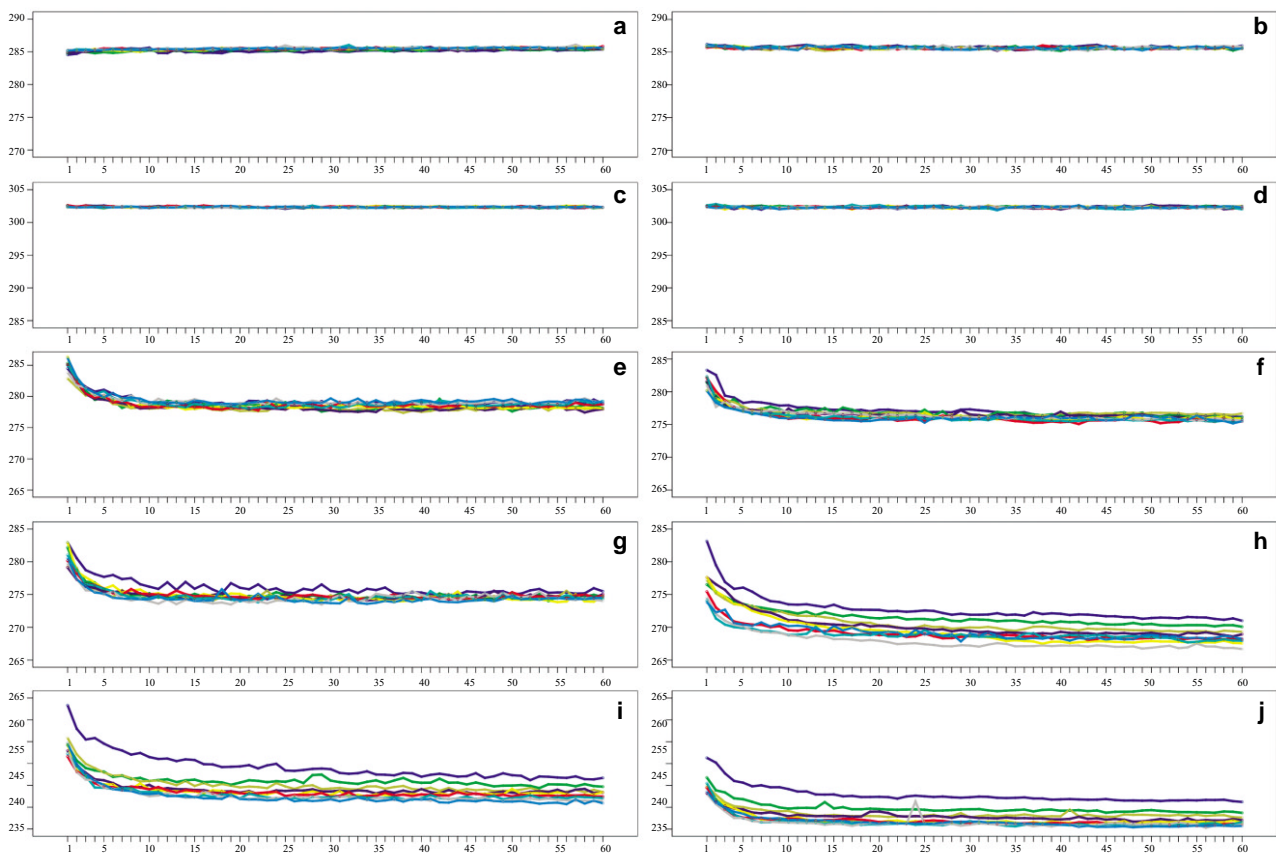


Figure 2. Actual rotational speed (rpm) of each electronic motors.

horizontal axis: The number of measuring times ($\times 10$ seconds), vertical axis: Rotational speed (RPM).

- a: Actual rotational speed of TECNIKA, under the unloading condition.
- b: Actual rotational speed of TECNIKA, under the loading condition.
- c: Actual rotational speed of AEU-25, under the unloading condition.
- d: Actual rotational speed of AEU-25, under the loading condition.
- e: Actual rotational speed of X-Smart (AC adapter), under the unloading condition.
- f: Actual rotational speed of X-Smart (AC adapter), under the loading condition.
- g: Actual rotational speed of X-Smart (Battery), under the unloading condition.
- h: Actual rotational speed of X-Smart (Battery), under the loading condition.
- i: Actual rotational speed of Endomate TC, under the unloading condition.
- j: Actual rotational speed of Endomate TC, under the loading condition.

유선 전기모터로서 안정적인 전원의 공급을 받는 TEC-NICA와 AEU-25의 10분씩 9회의 반복사용에 따른 회전 속도는 아주 미미한 변화가 관찰되었지만 하중 여부에 상관 없이 일관되게 유지되는 것을 보였고, 반복사용에 따른 회전 속도의 변화도 통계학적 유의성을 보이지 않았다 (Figure 2. a-d). AC adapter에서 전원을 얻는 유선 전기 모터인 X-Smart의 경우 시간에 따라 기록된 회전속도는

초반 60초간 10 rpm 정도의 회전속도의 저하가 보였으나, 그 후에는 안정적인 회전속도의 유지가 관찰되었고, 반복사용에 따른 통계적인 유의성은 나타나지 않았다(Figure 2. e, f). 충전식 배터리에서 전원을 얻는 무선 전기모터인 X-Smart의 경우 관찰되어진 초반 60초간의 급격한 회전속도의 저하와 이후의 안정적인 회전속도의 유지는 유선 전기모터인 X-Smart의 결과와 유사했다. 정하중하 조건에서 반

복사용에 따른 전반적인 회전속도의 저하가 관찰되었으나, 반복측정 분석결과 반복사용에 따른 회전속도의 변화에 있어서 통계적인 유의성은 나타나지 않았다(Figure 2. g, h).

Endomate TC의 경우 시간에 따라 기록된 회전속도는 정하중하 조건에서 유의성 있게 낮은 회전속도가 관찰되었고, 모든 조건에서 초반 90여 초 간 급격한 회전속도의 저하와 이후의 안정된 회전속도의 유지가 관찰되었으며, 첫 번째 사용할 때보다 두 번째 이후의 사용에 있어서 전반적인 회전속도의 저하가 관찰되었으나, 반복사용에 따른 회전속도의 변화에 있어서 통계적인 유의성은 보이지 않았다(Figure 2. i, j).

3. 반복사용에 따른 전압과 전류의 변화

모든 전기모터의 모든 조건에서 시간에 따라 기록된 전압의 반복사용에 따른 변화(Figure 3)는 동일한 양상을 보였고 각각 통계적으로 유의한 차이가 없었으며, 반복사용에 따른 전류의 변화(Figure 4)도 각각 통계적으로 유의한 차이가 없었으나, 하중부여에 따라 유의성 있게 더 높은 전류가 소비됨이 관찰되었다($p < 0.05$, Table 4).

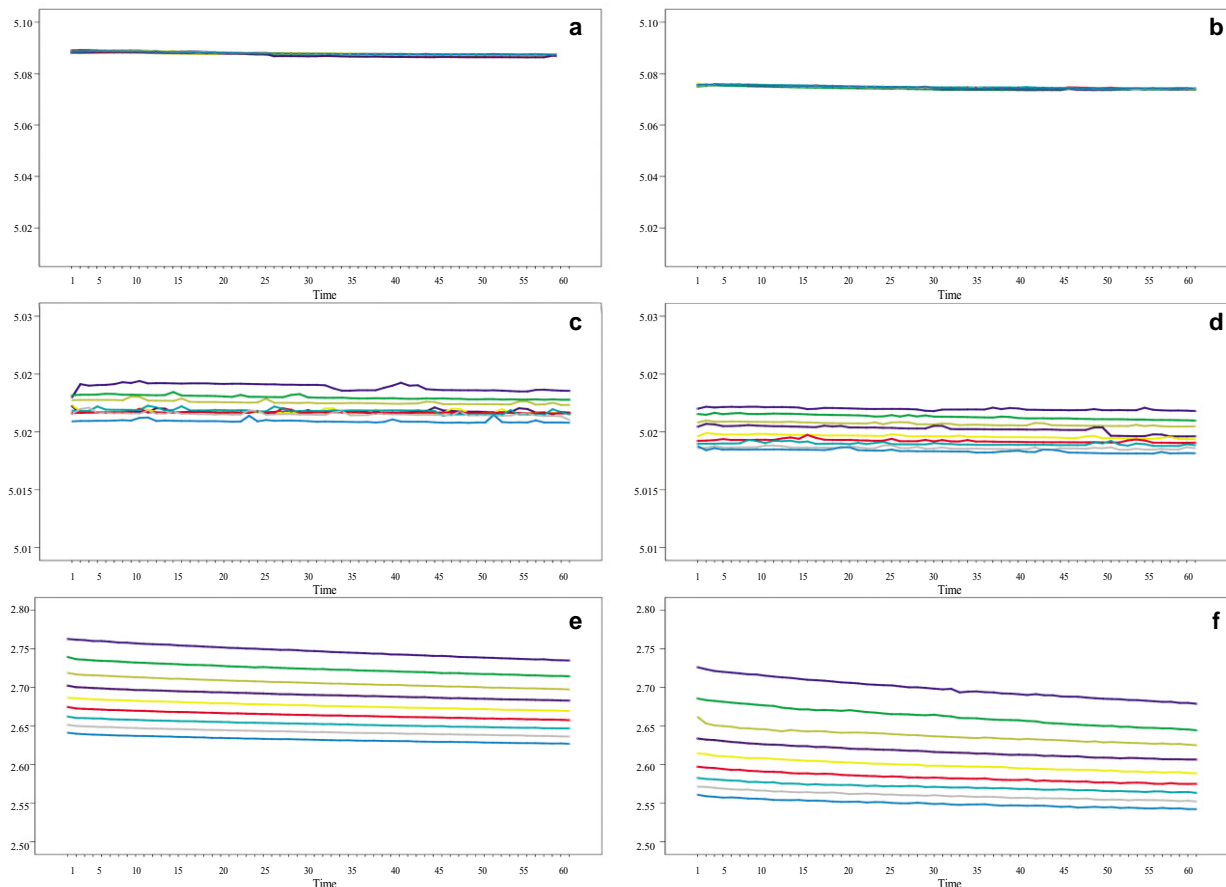


Figure 3. Actual DC voltage (V) depending on repeated using.

- a: X-Smart (AC adapter) under the unloading condition.
- b: X-Smart (AC adapter) under the loading condition.
- c: X-Smart (Battery) under the unloading condition.
- d: X-Smart (Battery) under the loading condition.
- e: Endomate TC under the unloading condition.
- f: Endomate TC under the loading condition.

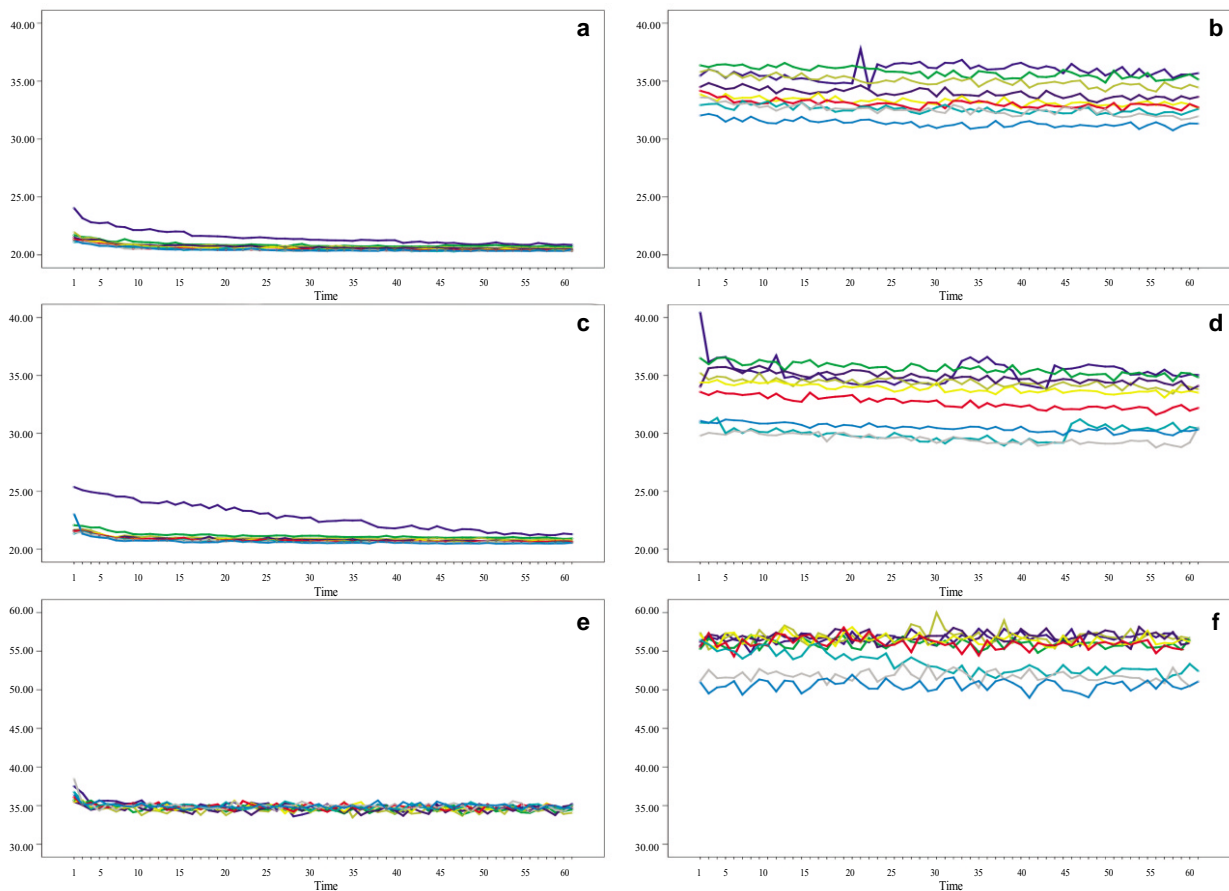


Figure 4. Actual DC current (mA) depending on repeated using.

- a: X-Smart (AC adapter) under the unloading condition.
- b: X-Smart (AC adapter) under the loading condition.
- c: X-Smart (Battery) under the unloading condition.
- d: X-Smart (Battery) under the loading condition.
- e: Endomate TC under the unloading condition.
- f: Endomate TC under the loading condition.

IV. 총괄 및 고안

근관형성 과정은 근관치료의 성공과 실패에 영향을 미치는 중요한 요소이다. 만족된 근관의 이상적인 근관형성을 위해 최근에는 회전식 NiTi 파일을 이용한 근관형성이 일반적인 방법으로 대두되고 있으나, 회전식 NiTi 파일의 사용의 증가에 따라 늘어나고 있는 파일의 파절에 대한 관심도 증대되고 있다. 회전식 NiTi 파일의 파절에 영향을 미치는 요인들에 대한 많은 연구들이 이루어지고 있으며, 회전속도,²⁹⁻³¹⁾ 토크,³⁰⁻³³⁾ 피로파절,^{32,34-39)} 파일의 형태,⁴⁰⁻⁴²⁾ 파일의 사용법^{41,42)} 그리고 사용자의 숙련도^{29-31,43)} 등의 요인들이 NiTi 파일들의 변형이나 파절에 관여하는 것으로 생각되어지고 있다.

Table 4. Comparison of voltages and currents depending on repeated using and with/without loading

DC Voltages (V)	X-Smart P [†]	Loading	5.0746 ^a
		Unloading	5.0877 ^a
	X-Smart B ^{††}	Loading	5.0221 ^a
		Unloading	5.0199 ^a
	Endomate TC	Loading	2.6087 ^a
		Unloading	2.6820 ^a
DC Currents (mA)	X-Smart P [†]	Loading	33.7019 ^b
		Unloading	20.7078 ^c
	X-Smart B ^{††}	Loading	32.9500 ^b
		Unloading	21.0474 ^c
	Endomate TC	Loading	54.9576 ^d
		Unloading	34.7762 ^b

[†] P: Power supplied from AC adapter

^{††} B: Power supplied from Rechargeable battery

Repeated measure analysis, significantly different at $p < 0.05$.

The different letter means significant difference between groups ($p < 0.05$).

사용의 편리성으로 임상가들 사이에서 널리 사용되고 있는 무선 전기모터는 충전식 배터리를 전원으로 사용하고 있으며, 최근에 개발된 무선 전기모터들은 메모리 효과(memory effect)가 적다고 알려져 있는 nickel-metal hydrate (Ni-MH) 충전지를 충전식 배터리로 사용하고 있다. Ni-MH 충전지는 기존에 널리 사용되던 nickel-cadmium (Ni-Cd) 충전지의 cadmium 등이 심각한 환경오염의 유발하는 유해물질로 인식 되어, 점차 사용이 규제되고 있다. 또한 낮은 에너지 저장 밀도로 전지로서의 효율성이 부족함에 따라 카드뮴 음극을 metal hydrate (MH)로 대체한 것으로, 유해물질을 사용하지 않고, 방전전압이 1.2-1.3 V로 Ni-Cd 충전지와 유사하면서 전지용량이 1.5-2 배로 에너지 밀도가 크고, 메모리 효과가 적으며 단위 에너지당 가격이 저렴하다는 많은 장점이 있어 가장 널리 사용되고 있는 2차 전지이다.⁴⁴⁾ 그러나 기존의 Ni-Cd 충전지의 nickel (니켈) 양극을 그대로 사용하고, 단지 카드뮴 음극을 MH로 대체한 것이기 때문에 전지의 특성이 Ni-Cd 충전지와 매우 유사한 특성이 있어^{44,45)} 사용 횟수나, 잔존 용량, 온도 등에 따라서 출력이 변할 수 있으며, 그 연장으로 회전속도가 변할 수 있는 경향이 있다.

2004년 Berutti 등⁴⁶⁾은 low-torque 모터에서의 자동역회전(autoreverse) 기능에 의한 갑작스러운 근관 내 파일의 정지 및 역회전은 불필요한 스트레스의 축적을 야기하여 결과적으로 파일의 수명을 단축시킨다고 보고하였고, 2005년 Bahia 등⁴⁷⁾은 파일 내부의 스트레스 누적은 NiTi 파일의 초탄성(super-elasticity)에 변화를 주지는 않지만 피로 파절을 유발할 수 있다고 보고하였다. 이는 air-driven 모터에서 공기압의 변화가 파일의 파절을 초래한다는 보고¹⁸⁾와 유사하다 볼 수 있으며, 무선 전기모터에서 충전식 배터리의 출력변화에 의한 근관 내에서 회전하고 있는 기구의 갑작스러운 회전속도의 변화도 NiTi 기구 내부에 불필요한 스트레스를 쌓이게 할 수 있다고 생각된다. 전기모터의 출력에 대한 기존의 연구들은 설정된 토크 값 보다 높은 출력의 토크 값이 측정되었다는 보고²⁴⁻²⁶⁾는 있었으나, 회전속도의 변화에 대해서는 보고 된 바가 없었다. 이에 본 연구에서는 수종의 전기모터에서 하중 부여 여부와 반복사용에 따라 출력되는 실제회전속도를 측정·기록하고, 반복사용과 시간에 따른 변화를 관찰하여 회전속도를 유지하는 것에 대한 회전 안정성의 평가를 시행하였다.

실험과정에서 측정된 실제회전속도는 한 종류의 모터를 제외하고는 설정된 값보다 유의성 있게 낮은 값을 보였는데, 이는 Kobayashi 등⁴⁸⁾의 결과와 유사한 결과를 보였다. 1997년 Kobayashi 등⁴⁸⁾은 충전식 배터리를 이용한 무선 전기모터인 Tri Auto ZX의 성능을 측정한 실험에서 설정 값보다 유의하게 낮고, 일정한 범위(240-280 rpm) 안에서 변화하는 회전속도를 보고한 바 있으며, 40 rpm 이내의 미

미한 회전속도의 변화는 임상사용에 있어 무의미 하다고 하였다.

Endomate TC를 제외한 모든 전기모터에서 하중 부여에 따른 실제회전속도는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나, Endomate TC의 경우, 정하중하 조건에서 통계적으로 유의하게 낮은 회전속도를 보였다($p < 0.05$). 또한 Endomate TC는 모든 경우에서 설정회전속도보다 20% 이상 감소된 250 rpm 이하의 낮은 회전속도가 기록되었으며, 이는 일반적으로 제조사가 권장하는 회전속도인 250-350 rpm에 미치지 못하는 속도이다. 회전속도가 파일의 파절에 미치는 영향이 없다는 보고^{23,31)}와 보다 높은 회전속도에서는 파일의 빠른 파절을 야기한다는 보고^{19,21,30,49)}도 있었지만, 권장 회전속도 내에서는 회전속도가 클수록 파일이 전진할 때 잔사가 파일과 잘 분리되어 파일이 후퇴할 때 수월하게 빠져 결과적으로 인장력이 작게 작용한다는 보고²²⁾와 회전속도가 클수록 절삭 효율이 증가되고 근관형성 소요 시간이 감소하여 효율적인 근관형성이 가능하다는 보고^{20,50,51)} 등을 고려해 볼 때, Endomate TC의 경우 일반적인 설정 값인 312.5 rpm으로 설정 시에는 근관형성의 효율이 감소되리라 생각되어, 권장 범위 안의 회전속도를 보이기 위한 설정 값을 알아보기 위하여 본 연구와 같은 방법으로 추가실험을 시행하였고, 그 결과는 다음과 같다. 제조사의 지시에 따른 방법²⁴⁾에 의하여 375 rpm의 회전속도로 설정하였을 때 비하중하 실제회전속도는 평균 300.62 ± 3.47 rpm, 정하중하 실제회전속도는 평균 286.44 ± 4.39 rpm이었으며, 반복사용에 따른 회전속도의 변화는 초반 40초간 15 rpm 정도의 회전속도의 저하와 이후의 안정된 회전속도의 유지가 관찰되었고, 반복사용에 따른 회전속도의 변화는 통계적인 유의성을 보이지 않았다($p = 0.998$). 그러므로 Endomate TC를 사용할 때는 제조사의 지시에 따른 방법²⁴⁾에 따라 375 rpm의 회전속도로 설정하여야 권장 회전속도 범위 내에서 효율성 있는 근관형성을 할 수 있다고 보인다.

1998년 Petka⁵²⁾는 60분간의 일회 근관치료에서 근관성형에는 10분이 소요된다고 보고한 바 있다. 이에 따라 본 실험에서는 하루에 최대 9명의 환자를 일회 근관치료를 한다고 가정하였을 때 첫 환자와 마지막 환자를 치료할 때에 회전속도의 유지에 차이가 있는지에 대한 평가를 시행하였는데, 실험에 사용된 모든 전기모터들은 모든 조건에서 반복사용과 시간의 흐름에 따른 회전속도의 변화는 유의한 차이를 보이지 않았다.

X-Smart는 소독을 위한 핸드피스 교체 등의 사유로 인한 회전속도의 변동을 표준화하기 위하여 calibration 기능을 탑재하고 있다. 회전속도의 변동이 본 실험에 미칠 수 있는 부정적인 영향을 최소화하기 위하여 실험을 시작하기 이전에 각 전기모터에 핸드피스를 연결한 후 calibration 작

업을 시행하였다. 예비 실험의 결과 calibration 작업이 각 전기모터의 회전속도에 미치는 영향은 유의한 차이는 없었으나, 임상에서 새 제품을 처음 사용 시에는 적게나마 나타날 수 있는 회전속도의 변동을 표준화하기 위하여 calibration 과정을 거치는 것이 보다 안전하리라 생각된다.

유선 전기모터로서 안정적인 전원을 갖는 TECNICA와 AEU-25를 제외하고, 회전속도를 측정하는 동시점에서의 전기모터 내부의 전압과 전류 값도 기록·관찰하여 전기모터 내부의 전원의 안정성에 대한 평가를 시행하였다. X-Smart는 AC adapter와 배터리 사용 시의 비교를 위해 마이크로 모터로 직접 연결되는 전원공급선을 단락시켜 측정하였고, Endomate TC는 내부회로가 하나의 기관으로 되어 있어서 전원 공급선의 단락이 불가능하여 회로에 전원이 공급되는 단자에서 측정을 시행하였다. 예비 실험에서 Endomate TC의 장시간 사용 시 충전식 배터리에서 약간의 온도 상승이 관찰되었는데, 온도 상승의 정도가 미미하였지만 과열로 인식됨으로써 실험에 미칠 수 있는 영향을 최소화하기 위해 원래의 충전식 배터리를 사용한 전원공급부를 따로 설치하여 실험에 사용하였다.

충전식 배터리의 메모리 효과(memory effect)에 의한 부정적인 영향을 최소화하기 위하여 각각의 무선 전기모터의 사용 후에 배터리의 완전 방전과 완전 충전을 해주는 배터리 refresh 과정을 시행하였다. X-Smart는 기기 자체에 내장되어 있는 refresh 기능을 이용하였고, Endomate TC는 방전기능이 있는 Ni-MH 충전식 배터리 전용 충전기인 Sanyo NC-MQR03 (Sanyo Electric Co., Japan)을 사용하였다.

하중 부여 조건에 관계없이 모든 전기모터에서 측정된 전압과 전류의 반복사용과 시간에 따른 변화는 각각 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 모든 전기모터에서 전압의 변화는 동일한 양상을 보였으며, 하중 부여에 따라 유의하게 더 높은 전류가 소비됨이 관찰되었고, 이는 하중에 의해 핸드피스에 부여되는 토크에 의한 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구는 수종의 근관치료용 전기모터의 반복적인 사용과 하중의 유무에 따른 실제회전속도를 측정하여 설정회전속도와 비교하고, 반복사용과 시간에 따른 회전속도의 변화를 반복측정 분석법을 이용한 비교를 통해 근관치료용 전기모터의 회전 안전성을 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 동일 종류의 전기모터들 사이의 모든 측정 결과들은 차이를 보이지 않았다.
2. 모든 전기모터의 모든 조건에서 반복사용과 시간의 흐름에 따른 회전속도의 변화는 차이를 보이지 않았다.

이상의 결과에서, 본 실험에서 사용된 모든 근관치료용 전기모터는 반복사용이나 하중의 여부에 상관없이 일정한 회전속도를 유지해야 하는 회전 안정성의 조건에 충족됨을 알 수 있었으며, 반복사용과 시간에 따른 신뢰성 있는 회전속도와 안정적인 전압 및 전류의 유지가 가능하리라 생각된다.

References

1. Schilder. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am* 18:269-296, 1974.
2. Skidmore AE, Bjørndal AM. Root canal morphology of human mandibular first molar. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 32:778-784, 1971.
3. Lim KC, Webber J. The effect of root canal preparation on the shape of the curved root canal. *Int Endod J* 18:233-239, 1985.
4. Kesseler JR, Peters DD, Lorton L. Comparison of the relative risk of molar root perforations using various endodontic instrumentation techniques. *J Endod* 9:437-439, 1983.
5. Weine F, Kelly R, Lio P. The effect of preparation procedures on the original canal shape and on apical foramen shape. *J Endod* 1:255-262, 1975.
6. Walia H, Brantely WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of nitinol root canal files. *J Endod* 14:346-35, 1988.
7. Glosson CR, Haller RH, Dove SB, del Rio CE. A comparison of root canal preparations using Ni-Ti hand, Ni-Ti engine-driven, and K-flex endodontic instruments. *J Endod* 21:146-151, 1995.
8. Serene TP, Adams JD, Saxena A. Nickel-titanium instruments: applications in endodontics. St. Louis, Mosby. 67-78, 1995.
9. Averbach RE, Kleier DJ. Endodontics in the 21st century: the rotary revolution. *Compend Contin Educ Dent* 22:27-34, 2001.
10. Spili P, Parashos P, Messer HH. The impact of instrument fracture on outcome of endodontic treatment. *J Endod* 31:845-50, 2005.
11. Parashos P, Gordon I, Messer HH. Factors influencing defects of rotary nickel-titanium endodontic instruments after clinical use. *J Endod* 30:722-725, 2004.
12. Schilder H. Filling root canals in three dimensions. *Dent Clin North Am* 11:723-744, 1967.
13. Crump MC, Natkin E. Relationship of broken root canal instruments to endodontic case prognosis: a clinical investigation. *J Am Dent Assoc* 80:1341-1347, 1970.
14. Hulsmann M, Schinkel I. Influence of several factors on the success or failure of removal of fractured instruments from root canals. *Endod Dent Traumatol* 15: 252-258, 1999.
15. Souter NJ, Messer HH. Complications associated with fractured file removal using an ultrasonic technique. *J Endod* 31:450-452, 2005.
16. Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JEA, Messer HH. Defect in rotary nickel-titanium files after clinical use. *J Endod* 26:161-165, 2000.
17. Cohen S, Burns RC. Pathways of the pulp. 8th ed. St. Louis, Mosby. 533-534, 2002.

18. Yared GM, Bou Dagher FE, Kulkarni GK. Influence of torque control motors and the operator's proficiency on ProTaper failures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 96:229-233, 2003.
19. Gabel WP, Hoen M, Steiman HR, Pink FE, Dietz R. Effect of rotational speed on nickel-titanium file distortion. *J Endod* 25:752-754, 1999.
20. Seo MC, Jeon YJ, In-Chol Kang, Kim DJ, Hwang YC, Hwang IN, Oh WM. Effect of rotational speed of Protaper™ rotary file on the change of root canal configuration. *J Kor Acad Cons Dent* 31:179-184, 2006.
21. Dietz DB, Di Fiore PM, Bahcall JK, Lautenschlager EP. Effect of rotational speed on the breakage of nickel-titanium rotary files. *J Endod* 26:68-71, 2000.
22. Shin JH, Baek SH, Bae KS, Lim SS, Yoon SH, Kim BH. A study of working efficiency and file deformation of GT rotary file in curved canals. *J Kor Acad Cons Dent* 26:418-435, 2001.
23. Puolsen BW, Dove BS, Del Rio CE. Effect of nickel-titanium engine-driven instrument rotational speed on root canal morphology. *J Endod* 21:609-612, 1995.
24. Yared G, Kulkarni GK. Accuracy of the DTC torque control motor for nickel-titanium rotary instruments. *Int Endod J* 34:399-402, 2004.
25. Yared G, Kulkarni GK. Accuracy of the Novag torque control motor for nickel-titanium rotary instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 97:499-501, 2004.
26. Yared G, Kulkarni GK. Accuracy of the TCM Endo III torque-control motor for nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 30:644-645, 2004.
27. Operation manual of Endomate TC. NSK 10, 2005.
28. ADA Professional Product Review. Rotary Endodontic Instruments: Laboratory Testing Methods 2006. in American National Standard/American Dental Association Specification No. 28 for root canal files and reamers, type K for hand use. Chicago: American Dental Association, 2002.
29. Mandel E, Adib-Yazdi M, Benhamou LM, Lachkar T, Mesgouez C, Sobel M. Rotary Ni-Ti ProFile systems for preparing curved canals in resin blocks: influence of operator on instrument breakage. *Int Endod J* 32:436-443, 1999.
30. Yared GM, BouDagher FE, Machtou P. Influence of rotational speed, torque, and operator's proficiency on ProFile failures. *Int Endod J* 34:47-53, 2001.
31. Yared GM, Bou Dagher FE, Machtou P, Kulkarni GK. Influence of rotational speed, torque and operator proficiency on failure of Greater Taper files. *Int Endod J* 35:7-12, 2002.
32. Gambarini G. Cyclic fatigue of nickel-titanium rotary instruments after clinical use with low- and high-torque endodontic motors. *J Endod* 27:772-774, 2001.
33. Yared G, Sleiman P. Failure of ProFile instruments with air, high torque control and low torque control motors. *Int Endod J* 34:471-475, 2001.
34. Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL Jr. Cyclic fatigue testing of nickel titanium endodontic instruments. *J Endod* 23:77-85, 1997.
35. Gambarini G. Cyclic fatigue of ProFile rotary instruments after prolonged clinical use. *Int Endod J* 34:386-389, 2001.
36. Yared GM, Bou Dagher FE, Machtou P. Cyclic fatigue of Profile rotary instruments after simulated clinical use. *Int Endod J* 32:115-119, 1999.
37. Yared GM, Bou Dagher FE, Machtou P. Cyclic fatigue of Profile rotary instruments after clinical use. *Int Endod J* 33:204-207, 2000.
38. Shin YM, Kim ES, Kim KM, Kum KY. Effect of surface defects and cross-sectional configuration on the fatigue fracture of NiTi rotary files under cyclic loading. *J Kor Acad Cons Dent* 29:267-272, 2004.
39. Kim JW, Ahn BD, Park SH, Shin HJ, Cho KM. Lifetime and fracture patterns of NiTi rotary files in molars. *J Kor Acad Cons Dent* 30:190-198, 2005.
40. Blum JY, Machtou P, Micallef JP. Location of contact areas on rotary Profile instruments in relationship to the forces developed during mechanical preparation on extracted teeth. *Int Endod J* 32:108-114, 1999.
41. Thompson SA, Dummer PM. Shaping ability of Quantec Series 2000 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals. Part 1. *Int Endod J* 31:259-267, 1998.
42. Thompson SA, Dummer PM. Shaping ability of ProFile .04 Taper Series 29 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals. Part 2. *Int Endod J* 30:8-15, 1997.
43. Barbakow F, Lutz F. The Lightspeed preparation technique evaluated by Swiss clinicians after attending continuing education courses. *Int Endod J* 30:46-50, 1997.
44. Yu JS, Han SC, Lee JY. The surface modification of Ti-based alloy with long cycle life for Ni/MH secondary battery. *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society* 11:151-161, 2000.
45. Park CN. Characteristics and Research Trends of Ni/MH secondary battery. *Bulletin of KIEEME* 12:28-33, 1991.
46. Berutti E, Negro AR, Lendini M, Pasqualini D. Influence of manual preflaring and torque on the failure rate of ProTaper rotary instruments. *J Endod* 30:228-230, 2004.
47. Bahia MGA, Martins RC, Gonzalez BM, Buono VTL. Physical and mechanical characterization and the influence of cyclic loading on the behavior of nickel-titanium wires employed in the manufacture of rotary endodontic instruments. *Int Endod J* 38:795-801, 2005.
48. Kobayashi C, Yoshioka T, Suda H. A new engine-driven canal preparation system with electronic canal measuring capability. *J Endod* 23:751-754, 1997.
49. Li UM, Lee BS, Shih CT, Lan WH, Lin CP. Cyclic fatigue of endodontic nickel-titanium rotary instruments: static and dynamic tests. *J Endod* 28:448-451, 2002.
50. Roane J, Sabala C, Duncanson M. The balanced force concept for instrumentation of curved canals. *J Endod* 11:203-211, 1985.
51. Kyomen SM, Caputo AA, White SN. Critical analysis of the balanced force technique in endodontics. *J Endod* 20:332-337, 1994.
52. Petka K. Implementing one-visit root canal therapy. *Dent Today* 17:112-117, 1998.

국문초록

근관치료용 전기모터의 회전 안정성 평가

박세희^{1*} · 서현우² · 홍찬의³

강릉원주대학교 치과대학 ¹치과보존학교실, ²소아청소년치과학교실, ³폴랜드 치과병원 치과보존과

수종의 근관치료용 전기모터들의 반복사용과 시간에 따른 회전속도의 변화를 비교하여 근관치료용 전기모터의 회전 안정성을 평가하고자 하였다. 시간에 따라 변화하는 실제회전속도 및 전압과 전류를 측정하고, Student t-test를 통한 실제회전속도와, 반복측정분석을 통한 상관관계를 비교분석 하였다. 동일 종류의 전기모터들 사이의 모든 측정 결과들은 차이를 보이지 않았다. 모든 전기모터에서 반복사용과 시간의 흐름에 따른 회전속도의 변화는 차이를 보이지 않았다. 이상의 결과로, 본 실험에 사용된 모든 전기모터는 일정한 회전속도를 유지해야 하는 회전 안정성의 조건에 충족됨을 알 수 있으며, 반복사용과 시간에 따른 신뢰성 있는 회전속도와 안정적인 전압 및 전류의 유지가 가능하리라 생각된다.

주요단어: 회전 안정성, 전기모터, 회전속도, RPM, Endomate TC, X-Smart