

논문 2004-41SC-6-6

전기 치수 검사 시 인체 반응을 이용한 자극 제어기의 개발

(Development of an Auto Stimulus Breaker During the Electric Pulp Testing using Human Responses)

남 기 창*, 안 선 회*, 이 승 종**, 김 덕 원***

(Ki-Chang Nam, Seon-Hui Ahn, Seung Jong Lee, and Deok Won Kim)

요 약

치수 검사(pulp test)는 치아에 물리적 및 화학적 자극을 가하여 치수의 생활력(vitality) 여부를 판별하는 검사이다. 치과 임상에서 수행되는 검사 과정에서 피검자는 치아에 가해지는 역치 이상의 자극으로 인하여 큰 고통과 스트레스에 노출된다. 본 논문에서는 생활치수의 전기 치수 검사 시, 자극의 강도를 서서히 증가시켜 역치에 이르게 되면 나타나는 피검자의 동통반응으로 개구반사에 의한 악이복근의 근전도, 발성에 의한 음성 반응, 손가락의 움직임에 의한 반응을 각각 측정하였다. 또한 동통 반응이 발생하는 시점으로부터 자극이 차단될 때까지 피검자에게 필요이상으로 인가되는 과용 자극 시간을 측정하였으며, 과용자극 시간 측정 시 치수 검사기의 자극 차단 주체에 따른 과용 자극 시간을 측정 분석하였다. 이러한 결과를 바탕으로 동통 반응에 의한 인체 반응 신호를 이용하여 치수검사기의 출력을 자동으로 차단하는 제어 스위치를 구성하였다. 피검자가 역치 자극을 느낀 후 나타나는 최초의 인체 반응의 10 ms 이내에 신속하게 검사기의 출력을 차단함으로써 과용자극 시간을 줄이고자 하였다.

Abstract

Electric pulp test is a method to examine the vitality of dental pulp using physical and chemical stimulation. During the pulp test, the current stimulates intradental nerve, and it makes patients painful. In this paper, we measured each activating response EMG in anterior belly of digastric muscle, voice, and finger movement during the pulp test by increasing stimulus intensity gradually. We also measured excessive stimulus time from the activating responses (EMG, voice, and finger movement) to the end of the stimulation. We measured and analyzed excessive stimulus time for each stimulus detecting method. As a result, we developed automatic stimulus breaker using the human responses to stimulus during electric pulp test. We reduced the excessive stimulus time by disconnecting the pulp tester stimulus output rapidly in 10 ms after activating human response.

Keywords : electric pulp test, pulp vitality, EMG(electromyography), human response, stimulus

I. 서 론

치수 검사(pulp test)는 치아에 물리적 및 화학적 자극을 가하여 유발되는 동통에 의해 치수의 생활력(vitality) 여부를 판별하는 검사이다. 치과 임상에서는 치수 검사의 한 방법인 전기 치수 검사를 할 때, 낮은 자극으로부터 자극의 강도를 서서히 증가시키며 피검자가 통증을 호소하면 자극을 차단시킨다. 피검자의 자극에 의한 통증 반응으로서 치수내 신경의 생활력을 구분하는 방법이다. 이러한 검사 과정에서 치수에 가해지는 역치 이상의 자극으로 인하여 피검자는 큰 고통과 스트

* 정회원, 연세대학교 의과대학 의학공학교실
(Dept. of Medical Engineering, College of Medicine, Yonsei University)

** 정회원, 연세대학교 치과대학 보존과학교실
(Dept. of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Yonsei University)

*** 종신회원, 연세대학교 의과대학 의학공학교실
(Dept. of Medical Engineering, College of Medicine, Yonsei University)

※ 본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원에 의하여 이루어졌음. (과제고유번호:02-PJ1-PG10-31401-0003)

접수일자: 2004년5월24일, 수정완료일: 2004년11월3일

레스를 받게 된다. 실제로 쥐의 치수에 전기 자극을 인가하였을 때 유발된 통증으로 교감신경의 흥분을 야기시키고 이로 인하여 동맥혈압(arterial blood pressure)이 상승하고, 혈중 스트레스 호르몬의 수준이 증가하는 것을 확인하였다^[1,2]. 따라서 전기 치수 검사 시, 불필요한 역치 자극 이상의 과용 자극의 노출을 줄임으로써 피검자가 느끼게 되는 불필요한 고통과 불편함을 최소화할 필요가 있다.

Mahan은 말초조직에 가해지는 유해자극에 의해 여러 동통반응을 일으키며, 악안면에서 나타나는 대표적인 반응을 개구반사(JOR, jaw opening reflex)라고 하였다^[3]. 또한 이러한 전기 치수 자극에 의해 개구반사(JOR)를 유발시켰을 때, 악이복근(digastric muscle)의 근전도(electromyograph)신호를 측정 한 연구에서는 근전도 진폭 변화에 대한 연구가 발표된 바 있다^[4,5]. 치수 자극에 의한 피검자의 다양한 동통 반응의 측정에 있어서, Ahlquist 등은 온도(thermal test-rapid cooling) 자극 후, INA(Intradental Nerve Activity), 동통의 크기에 대한 손가락 구부림(finger span response)반응, 음성 표현(verbal response) 등이 나타나는 지연시간 측정하였다^[6].

본 논문에서는 전기 치수 검사 시, 자극의 강도를 서서히 증가시켜 역치에 이르게 되면 유발되는 반응을 피검자의 개구반사에 의한 악이복근의 근전도, 발성에 의한 음성, 손가락의 움직임으로 각각 측정하였다. 동통반응이 발생하는 시점으로부터 자극이 차단될 때까지 시간을 측정하여 역치 자극 이후에 피검자에게 필요 이상으로 인가되는 과용자극 시간을 분석하였다. 또한 자극을 차단할 때의 주체를 검사자와 피검자로 구분하여 비교하였다. 이러한 결과를 바탕으로 측정된 인체 반응 신호를 이용하여 치수검사기의 출력을 제어하였으며, 전기 치수 검사 시 피검자가 동통을 느낀 이후 신속하게 검사기의 출력을 차단하여 과용자극 시간을 줄이고자 하였다.

II. 본 론

1. 전기 치수 검사 시 동통 반응 측정을 위한 시스템

실험은 현재 치아에 병변이 없거나 과거 병력이 없는 건강한 성인 남녀 23명 (남 : 16 명, 26.9 ± 2.2 세; 여 : 7 명, 25.9 ± 2.9 세)의 우측 첫 번째 상악 전치와 우측 첫 번째 상악 소구치를 대상으로 실험을 실시하였다. 검사 시 전기 자극이 타액에 의해 치아 이외의 다른 부분

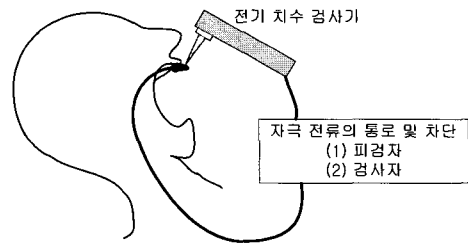


그림 1. 전기 치수 검사기를 이용한 치수 검사 방법
Fig. 1. Pulp vitality testing using electric pulp tester.

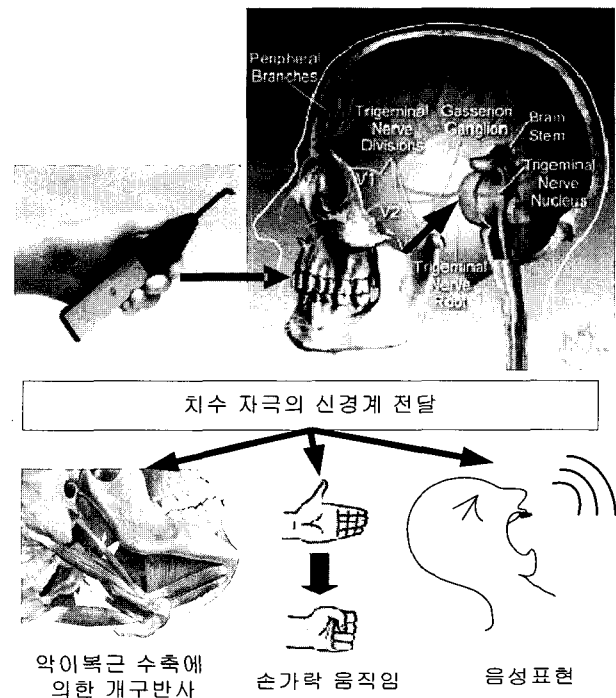


그림 2. 치수 자극에 의해 유발되는 인체 반응
Fig. 2. Human responses to pain caused by pulp stimulating.

으로 전달되는 것을 막기 위해 치아를 완전히 건조시켰으며, 프로우브 팁과 치아 사이의 접촉 임피던스를 줄이기 위해 일반적인 치수 검사와 같은 방법으로 치약용 검사 부위에 사용하였다. 전기 치수 자극 레벨의 증가 빈도는 5 Hz 이며, 그림 1과 같이 피검자와 검사자에 의한 자극 차단으로 검사 방법을 구분하여 역치 자극으로 인해 피검자가 통증을 느낄 때 그림 2와 같이 유발되는 세 가지 반응을 측정하였다.

1.1 악이복근에서의 근전도 반응

역치 자극 이상의 자극이 치수에 가해질 때 발생하는 개구반사는 유해 임펄스(nociceptive impulse)가 체성신경과 운동신경에 의해 전달되어 삼차신경 중 하악 분지(mandibular division)의 운동섬유가 흥분되어 악안면

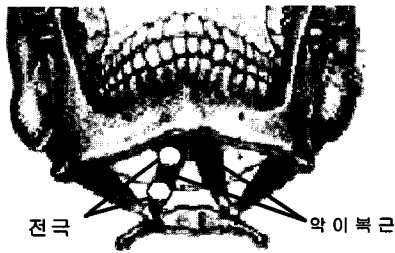


그림 3. 악이복근의 근전도 측정을 위한 전극 위치
Fig. 3. Electrode configuration for EMG in anterior belly of digastric muscle.

근육의 수축에 의해 발생한다.

근전도 측정 시 단일 근육의 활동성을 측정하기 위해서는 침습전극(intramuscular electrode)을 사용하지만, 본 연구에서는 표면전극(surface electrode)이 운동 시 전반적인 근육 활동의 측정이 가능하고, 비 침습적인 장점이 있어^[7] 직경 10 mm의 일회용 Ag-AgCl 표면전극(RedDot, 3M, USA)을 사용하였다. 악이복근의 근전도 측정을 위해 그림 3과 같은 위치에 해당되는 피부에 전극을 부착하여 측정하였다.

근전도는 쌍전극(bipolar) 방식으로 측정하였으며, 두 전극간의 간격은 2.5 cm로 일정하게 하였다. 접지 전극은 손바닥 방향의 왼손 손목에 부착하였고, 근전도 앰프를 제작하여 측정하였다. 측정된 근전도 신호 중 통증에 의한 자극 반응과 동적잡음을 구분하기 위해 20 Hz 고역 통과 필터를 사용하였다.

1.2 음성반응

피검자가 느끼는 동통을 음성으로 표현되는 신호를 측정하기 위하여 PC용 마이크로폰을 피검자 상의의 흉부에 고정시켜 사용하였다. 음성신호는 목에 부착된 마이크로폰을 통해 측정하였다.

1.3 손가락 반응

피검자가 동통을 느낄 때, 손가락을 움츠리거나 혹은 전류 통로를 개방하기위해 피검자가 잡고 있던 전기치수 검사기를 놓을 때 손가락 움직임이 발생하게 된다. 이 손가락 움직임을 검출하기 위해 그림 4(a)와 같은 밴드 타입의 가변저항(Flexpoint, USA)을 오른손 중지예 그림 4(b)와 같이 부착하였다. 밴드 타입의 가변저항은 손가락 마디에 연결된 가이드 사이에 끼워 넣어 손가락 움직임을 잘 반영할 수 있도록 하였다. 피검자가 동통을 느낄 때 손가락을 움직이게 되면 가변저항의 값이 변하게 되는데 이 변화량을 전압 값으로 측정하였다. 이 신

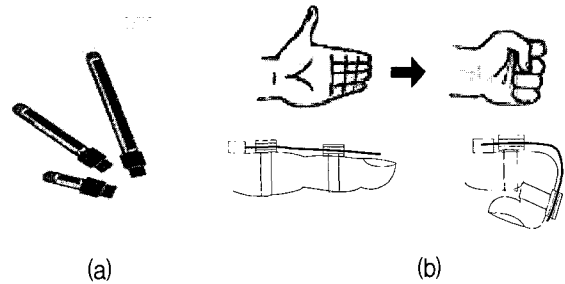


그림 4. 밴드 타입 가변저항 (a) 및 손가락에 부착한 모습 (b)
Fig. 4. Band type of potentiometer (a) and attached to a finger (b).

호는 교류 커플링(AC coupling)을 거쳐 동적 잡음을 제거 하였으며, 동통에 의한 갑작스런 손가락의 움직임이 측정되도록 하였다.

1.4 인체 반응의 동시 측정

치수 검사 시 유발되는 각 인체 반응과 치수 검사기의 출력 레벨신호를 동시에 측정하였다(그림 5). 측정된 신호는 MP100 (Biopac System Inc. USA)을 이용하여 PC로 전송, 기록하였다.

2. 과용 자극 시간의 측정

그림 5는 전기 치수 검사 시 검사기의 출력 레벨과 근전도, 손가락 움직임, 음성 반응을 동시에 기록한 결과의 예이다.

그림 5에서 tS 는 피검자에게 가해지는 전기 치수 자극이 시작되는 시점이며, tE 는 자극이 피검자 혹은 검사자에 의해 차단되는 시점이다. 따라서, tS에서 tE 사이의 시간 ① 이 피검자에게 자극이 가해지는 총 자극 시간이다. 역치 자극 강도에서 통증을 느끼게 되면 그 결과가 신경 반응으로 나타나며 약 15-20 ms의 지연시간 뒤에 근육수축이 나타나고^[8], 이후 다른 인체반응이 표현된다. 따라서 치수 자극의 강도를 높여가며 지속적으로 자극을 가하면서 피검자의 통증 표현으로 자극을 차단하는 일반적인 검사 과정에서 신경 반응을 측정하면 정확한 과용자극 시간을 추정할 수 있다. 그러나 본 실험에서는 신경 반응 측정을 위한 관혈적인 방법을 피하고자 비관혈적인 측정을 하였으며, 피검자가 실제로 자극을 느끼기는 예상 시점을 tX 라고 설정하였다. 따라서 실제 과용 자극 시간은 ②로 추정할 수 있다. tEMG, tFS, tV는 각각 역치자극에 의해 근전도, 손가락, 음성 반응이 발생하는 시점이다. 따라서 ③-⑤는 각 인체 반응으로 측정될 수 있는 과용자극 시간이 된다.

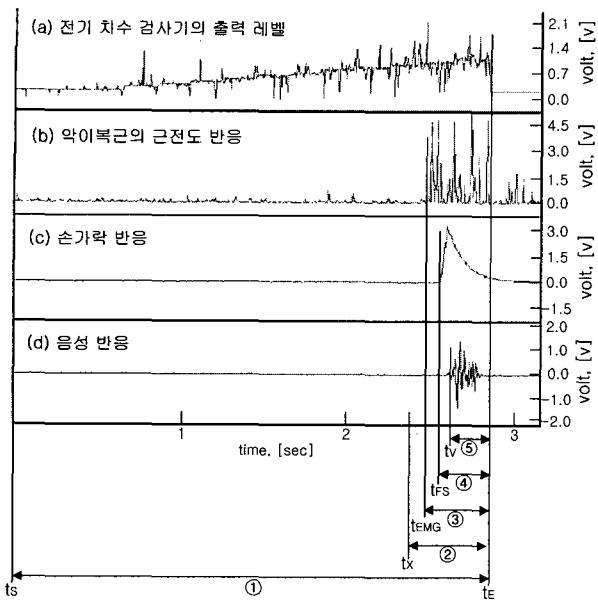


그림 5. 전기 치수 검사 시 검사기의 출력 레벨과 근전도, 손가락 움직임, 음성 반응의 기록 (tS : 전기 치수 자극 시작 시점, tE : 전기 치수 자극이 차단되는 시점, tX : 역치 자극을 느끼는 실제 시점, tEMG, tFS, tV : 근전도, 손가락, 음성 반응 발생 시점, ① : 전기 치수 검사 시 총 자극 시간, ② : 예상되는 실제 과용 자극 시간, ③ - ⑤ : 각 반응에 의해 측정되는 과용 자극 시간

Fig. 5. Records of electric pulp testing level, EMG, finger span, and voice during electric pulp testing (tS : starting time of electric pulp testing, tE : ending time of electric pulp testing, tX : time of feeling the threshold stimulus, tEMG, tFS, tV : starting time of EMG, finger span and voice response, ① : time of electric pulp testing, ② : true excessive stimulus time estimation, ③ - ⑤ : measured excessive stimulus time by each response).

3. 인체반응을 이용한 치수 검사기의 출력 제어

3.1 악이복근의 근전도 반응을 이용한 전기 치수 검사기의 출력 제어

측정된 근전도 신호는 그림 6과 같은 구성으로 하드웨어를 제작하여 근전도 스위치를 발생시켰다. 근전도 신호는 저역 통과 필터(low pass filter)를 사용하여 포락선(envelope) 파형을 얻어내었다. 이때 근전도 신호는 이상성 신호(biphasic signal)이기 때문에 그 평균값은 0이 되어 저역 통과 필터 통과 시 실제 파형과 다르게 출력된다. 따라서 저역통과 필터 앞단에 전파정류(full-wave rectifier)회로를 이용하여 음의 값을 갖는 신호를 모두 양(positive)의 전압값을 갖도록 하였다. 포락선 파형의 전압 값과 기준 전압을 비교기를 통하여 스

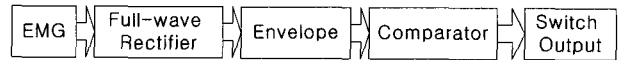


그림 6. 근전도 신호를 이용한 스위치 제어의 구성
Fig. 6. Block diagram of EMG switch.



그림 7. 음성 신호를 이용한 스위치 제어의 구성
Fig. 7. Block diagram of Voice switch.



그림 8. 손가락 신호를 이용한 스위치 제어의 구성
Fig. 8. Block diagram of Finger span switch.

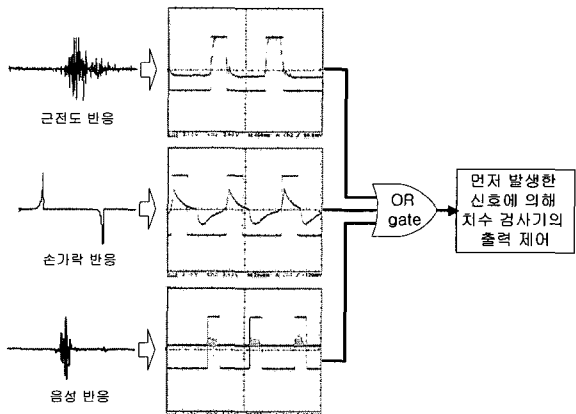


그림 9. 근전도, 손가락, 음성 신호에 의한 스위치 구성
Fig. 9. Integrated switch using EMG, finger span, and voice signal.

위치 신호를 발생시켰다.

3.2 음성 반응을 이용한 전기 치수 검사기의 출력 제어

근전도 신호의 처리와 같은 방법으로 입력된 음성 신호는 그림 7과 같은 구성을 가지고 음성 스위치를 발생시켰다. 입력된 음성 신호는 전파정류회로를 통하여 양의 신호를 구하고 저역 통과필터를 이용하여 포락선 파형을 얻는다. 그리고 포락선 파형의 전압값과 기준 전압을 비교기를 통하여 스위치 신호를 발생시켰다.

3.3 손가락 반응을 이용한 전기 치수 검사기 출력 제어

입력된 손가락 신호에 의한 스위치는 정류회로나 포락선 검출 없이 기준 전압과 비교기를 통해 그림 8과 같이 동작하였다.

3.4. 각 인체 반응에 의한 스위치 신호의 통합

각 인체반응 신호로부터 발생한 스위치 신호를 그림 9와 같이 OR 게이트를 이용하여 하나의 신호로 통합하

였다. OR 게이트는 입력되는 신호 중 어느 하나의 입력이 true이면 출력신호가 true를 나타낸다. 이때 가장 먼저 발생하는 신호에 의해서 스위치 신호가 발생하면 그 상태를 기억하도록 R-S Latch를 사용하였다. R-S Latch를 통과한 신호가 치수검사기를 제어하는 최종 스위치가 된다.

III. 결 과

1.1. 각 인체 반응 측정 결과

그림 5에서 치수 자극에 의해 각각 근전도, 손가락, 음성 반응이 나타났음에도 불구하고 자극이 계속 인가되는 시간을 측정된 것으로 각 반응에 의해 측정된 과용 자극 시간을 설명한 바 있다. 각 인체 반응으로 측정된 과용 자극 시간은 실제 값을 추정하기 위한 값이며, 실제 과용 자극 시간은 측정된 값보다 더 클 수 있다. 측정된 과용자극 시간이 길수록 실제 과용 자극 시간에 근사하게 측정된 것으로 볼 수 있으며, 값이 작을수록 실제 예측되는 과용 자극 시간과 오차도 크고 역치 자극으로부터 반응이 늦게 나타났음을 뜻한다. 또한 치수 검사 시 피검자가 통증을 느낄 때 자극을 제거하는 방법에 따라 검사자가 치수검사기를 제어하는 경우와 피검자가 직접 제어하는 경우를 각각 비교, 분석하여 보았다.

표 1에서 보는 바와 같이 치수 자극에 의해 역치 자극을 느낀 이후에 나타나는 인체 반응은 근전도, 손가락

표 1. 전기 치수 검사 시 각 인체 반응에 의해 측정되는 과용자극시간

Table 1. Excessive stimulus time measured by EMG, finger span, and voice response, respectively.

치아	인체 반응	전류 자극 종료 차단 방법에 따른 차단 지연시간					
		검사자 (평균 ± 표준편차, ms)			피검자 (평균 ± 표준편차, msec)		
		남 (n=16)	여 (n=7)	전체 (n=23)	남 (n=16)	여 (n=7)	전체 (n=23)
전 치	근전도	336.9 ± 44.0	337.9 ± 64.6	337.2 ± 49.6	203.1 ± 33.9	207.1 ± 48.9	204.4 ± 37.9
	손가락	278.1 ± 67.8	219.3 ± 91.0	260.2 ± 78.5	132.2 ± 34.5	119.1 ± 28.0	128.2 ± 32.6
	음성	247.8 ± 43.5	210.7 ± 35.2	236.5 ± 43.9	101.6 ± 67.1	95.7 ± 58.6	99.8 ± 63.3
소구치	근전도	366.9 ± 113.4	339.3 ± 57.9	358.5 ± 99.2	228.8 ± 61.0	225.0 ± 76.8	227.6 ± 64.4
	손가락	269.7 ± 46.1	270.0 ± 47.3	269.8 ± 45.4	102.8 ± 80.1	133.6 ± 37.6	112.2 ± 70.5
	음성	226.6 ± 41.6	212.1 ± 34.0	222.2 ± 39.3	90.3 ± 87.1	99.3 ± 41.8	93.0 ± 75.3
전 체 (n=46)	근전도	361.9 ± 85.9	338.6 ± 58.9	347.8 ± 78.3	215.9 ± 50.3	216.1 ± 62.5	216.0 ± 53.6
	손가락	274.0 ± 57.5	244.6 ± 74.5	264.9 ± 63.9	117.5 ± 62.5	126.4 ± 32.7	120.2 ± 54.9
	음성	237.2 ± 43.2	211.4 ± 33.2	229.4 ± 41.8	95.9 ± 76.7	97.5 ± 48.9	96.4 ± 68.9

움직임, 음성 반응 순서로 나타남을 알 수 있다. SPSS 8.0 (SPSS Inc., USA)을 이용하여 유의수준 p = 0.01로 비모수적 검정을 한 결과 통계적으로 각 반응에 의해 측정된 과용자극 시간에 따른 유의차가 있었다. 치수 검사기를 제어하는 주체가 피검자일 경우 검사자가 제어하는 경우에 비해 자극이 빨리 차단되어 측정된 과용자극 시간이 짧았다.

1.2. 인체 반응에 의한 치수검사기 출력 제어 결과

그림 10은 전기 치수 검사시 치수 검사기의 출력과 각 인체반응 신호를 측정된 결과이다.

그림 10(a)는 기존의 일반적인 치수검사 방법으로 인체반응 신호로부터 발생한 스위치 신호를 사용하기 전이고, 그림 10(b)는 근전도, 손가락, 음성 신호에 발생된 스위치를 이용해 치수 검사기의 출력이 제어된 결과이다. 그림 10(b)에서 보는 바와 같이 측정된 세 가지 반응 중 가장 먼저 발생한 근전도 신호에 의해 치수검사기의 출력이 제어된다. 이것은 기존의 방법으로 측정된 그림 10(a)와 비교하였을 때, 치수 자극에 의한 인체 반응이 발생한 후에도 여전히 인가되는 과용자극이 그림 10(b)에서는 즉시 차단되는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

치수 자극에 의해 유발되는 동통에 관한 선행 연구는 이루어졌으나^[6,9-12], 역치 이상의 자극에 의해 유발되는 동통의 근본적인 해결에 대해서는 아직 활발한 연구가 이루어지지 않고 있다. 본 연구는 피검자가 역치 이상의 자극으로 인해 유발되는 인체 반응(악이복근의 근전도, 음성, 손가락 반응)을 측정하기 위하여 회로를 제작, 측정하였고 각 반응이 발생했음에도 불구하고 자극이 계속 인가되는 과용자극 시간을 측정하였다. 그리고 측정된 인체 반응 신호 중에서 가장 먼저 발생한 반응에 의해 치수 검사기의 출력을 제어하여 피검자에게 인가되는 과용자극을 줄이고자 하였다.

치아에 전기 자극을 가했을 때, 피검자의 악이복근의 근전도 반응이 가장 먼저 발생한 후, 일정한 지연 시간 후에 손가락 움직임, 그 후에 발생하는 음성을 통한 통증 표현의 순으로 나타났다. 이로써 치수의 역치 자극 이후 통증에 대한 반응들 중 근전도 반응에 의해서 측정되는 과용시간이 실제 피검자에게 가해지는 과용자극 시간에 가장 근접하게 측정되었다고 볼 수 있다. 치수 검사기의 자극 차단의 주체(검사자 혹은 피검자)에 따

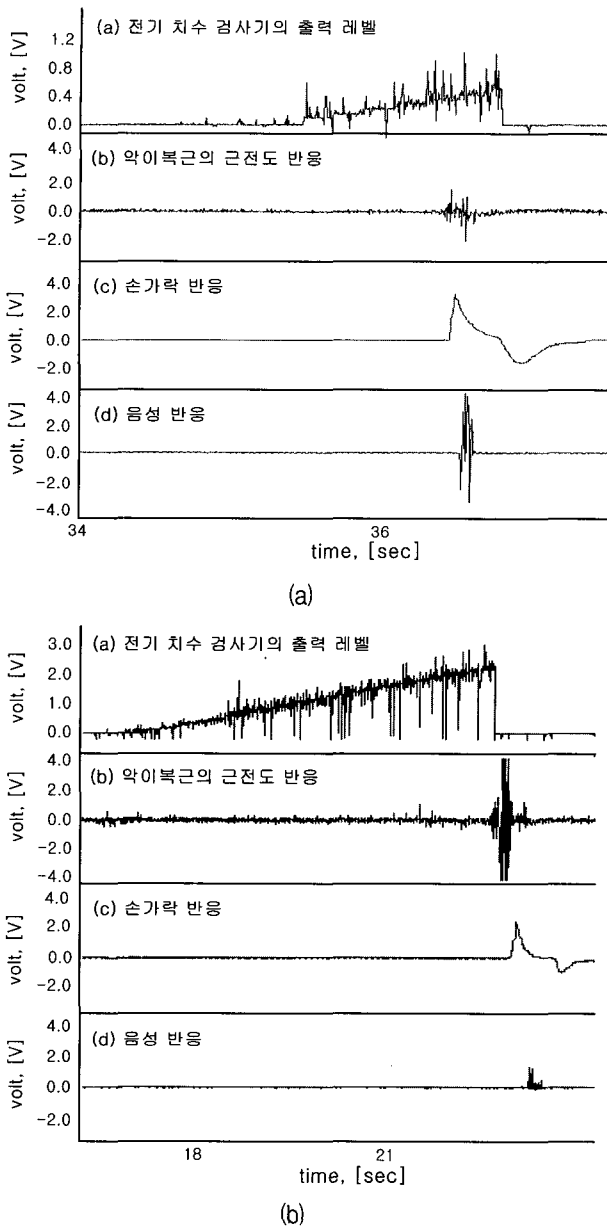


그림 10. 기존의 치수검사 방법(a)과 인체 반응에 의한 치수 검사기의 출력 제어 방법(b)

Fig. 10. Conventional electric pulp test (a) and Control of electric pulp tester's output using human response (b).

라 자극 차단이 이루어지는 시점이 달라지므로 측정되는 과용시간의 차이가 발생했다. 이것은 검사자에 의한 자극 차단은 피검자의 반응을 인식한 후 검사자의 운동 반응에 의해 이루어지므로 피검자가 자극을 차단 할 때 보다 더 긴 지연시간 후에 차단이 이루어지기 때문이다. 전치와 소구치의 치아에 따라 측정된 과용자극시간의 차이를 비교해본결과 통계적으로 유의하지 않았으며, 남, 여에 따른 차이 역시 그 결과가 통계적으로 유의하지 않았다.

Matthews 등의 결과에 의하면 치수에 역치 이상의 자극을 가한 이후에 교근에서 나타나는 근전도 반응의 지연시간이 15 - 20 ms라 하였다^[8]. 본 연구에서 측정된 근전도에 의한 과용자극시간은 전치의 경우 검사자 차단에 의해 약 347.8 ms, 피검자 차단에 의해 약 216.0 ms로 나타났다. 이와 Matthews의 결과로부터 근전도 지연시간을 20 ms 고려하면 실제 과용자극시간은 전치의 경우 피검자와 검사자 차단의 경우가 각각 약 367.8 ms, 236.0 ms 정도로 추정할 수 있다. 역치레벨 이하의 자극은 자극 시간이 길어도 피검자가 큰 불편함을 느끼지 않으나, 역치레벨 이상의 자극에 대해서는 짧은 순간의 자극에 대해서도 고통과 불편함이 따른다. 본 연구에서 개발된 자극 제어기를 사용하면, 자극 제어기 스위치가 동작하는 지연시간 10 ms를 고려할 때 피검자와 검사자 차단의 경우 각각 약 357.8 ms, 226.0 ms를 감소시킬 수 있다. 따라서 과용자극 시간이 감소하게 됨에 따라 치수 자극 출력이 다음 레벨로 증가하기 이전에 차단이 이루어지는 것이 가능하게 되었으며, 피검자는 그만큼 역치 자극 이상의 과용자극에 적게 노출되고 이로 인하여 유발되는 불쾌감이나 고통을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] S. H. Han, S. H. Yoon, Y. W. Cho, C. J. Kim, B. I. Min, "Inhibitory effects of electroacupuncture on stress responses evoked by tooth-pulp stimulation in rats", *Physiol Behav.*, Vol. 66, no. 2, pp. 217-222, 1999.
- [2] G. V. Allen, S. P. Pronych, "Trigeminal autonomic pathways involved in nociception induced reflex cardiovascular responses", *Brain Res.*, Vol. 18, no. 754(1-2), pp. 269-78, 1997.
- [3] P. E. Mahan, "Jaw depression elicited by tooth pulp stimulation", *Exp Neurol.*, Vol. 29, no. 3, pp. 439-448, 1970.
- [4] P. Mason, A. Strassman, R. Maciewicz, "Is the Jaw-Opening Reflex a valid model of pain?", *Brain Res Rev*, Vol. 10, pp. 137-146, 1985.
- [5] P. Mason, A. Strassman and R. Maciewicz. "Intracellular responses of raphe magnus neurons during the jaw-opening reflex evoked by tooth pulp stimulation." *Brain Research*, Vol. 379, pp. 232-241, 1986.
- [6] M. L. Ahlquist, L. G. A. Edwall, O. G. Franzen, and G. A. T. Haegerstam, "Perception of pulpal pain as a function of intradental nerve activity",

Pain, Vol. 19, no. 4, pp. 353-366, 1984.

[7] P. Koole, H. J. D. Jongh, G. Boering, "A comparative study of electromyograms of the masseter, temporalis, and anterior digastric muscles obtained by surface and intramuscular electrodes: raw-EMG", Cranio. Vol. 9, no. 3, pp. 228-240, 1991.

[8] B. Matthews, J. Baxter, S. Watts, "Sensory and reflex responses to tooth pulp stimulation in man", Brain Res., Vol. 113. no. 1, pp. 83-94, 1976.

[9] 한영철, 이정식, 이종훈. "치수 자극으로 유도되는 삼차신경 척수 미측핵의 전압기록에 관한 실험적 연구", 대한구강생물학회지, Vol. 9, no. 1, pp. 21-29, 1985.

[10] J. E. Belforte, A. C. Barcelo, J. H. Pazo, "Striatal modulation of the jaw opening reflex", Brain research, Vol. 891, no. 1-2, pp.138-147, 2001.

[11] M. L. Ahlquist, L. G. Edwall, O. G. Franzén, G. A. Haegerstam., "Perception of pulpal pain as a function of intradental nerve activity", Pain, Vol. 19, no.4 pp.353-366, 1984.

[12] M. L. Ahlquist, O. G. Franzén. "Encoding of the subjective intensity of sharp dental pain", Endod Dent Traumatol, Vol. 10, no.4 pp.153-166, 1994

저 자 소 개



남 기 창(정회원)
 1997년 연세대학교 의용전자
 공학과 학사 졸업
 1999년 연세대학교 대학원 생체
 공학협동과정 석사 졸업
 2004년 연세대학교 대학원 생체
 공학협동과정 박사 졸업
 현재 연세대학교 의과대학 의학공학교실 연구강사
 <주관심분야: 생체신호계측, 음성신호처리>



안 선 희(정회원)
 2002년 건국대학교 의학공학과
 학사 졸업
 2004년 연세대학교 대학원 생체
 공학협동과정 석사 졸업
 현재 삼성전자 연구원
 <주관심분야: 생체신호계측>



이 승 종(정회원)
 1975년 서울대학교 치과대학
 치의학사 졸업
 1980년 서울대학교 대학원
 치의학석사(보존학) 졸업
 1984년 미국 미네소타 대학원
 이학석사(근관치료학) 졸업
 1991년 서울대학교 대학원 치의학(보존학)
 박사 졸업
 2004년 현재 연세대학교 치과대학 보존과학교실
 주임교수
 <주관심분야: 치아이식, 전자근관장 측정기, 치수
 검사기>



김 덕 원(중신회원) - 교신저자
 1976년 서울대학교 공과대학
 학사 졸업.
 1980년 Northwestern Univ.
 전기공학과 석사 졸업
 1986년 Univ. of Texas 의공학과
 박사 졸업
 2004년 현재 연세대학교 의과대학 의학공학교실
 주임교수
 2004년 현재 연세대학교 대학원 생체공학협동과정
 주임교수
 <주관심분야: 비관혈적 생체계측, 의료기기, 전
 자과 유해성>

