

## 경피성 신경자극이 근전도 Power Spectrum과 압력통각역치에 미치는 영향

강릉대학교 치과대학 구강내과·진단학 교실 및 구강과학연구소

김 철 · 박문수

본 연구는 저작근의 과활성으로 유발된 근피로와 근육통증에 경피성 신경자극이 어떤 영향을 미치는지 평가하기 위해 측두하악장애의 병력과 현증이 없는 평균연령 26.1세인 29명의 정상 성인(남자 18명, 여자 11명)을 대상으로 교근의 주관적 통증강도, 압력통각역치, 근전도 power spectrum의 변화양상을 측정하여 분석하였다. 모든 피험자는 적어도 3일 이상의 간격으로 2 회의 실험에 참여하여 하루는 실험군으로서 경피성 신경자극(TENS)을 적용하였고, 다른 하루는 대조군으로서 위경피성 신경자극(sham-TENS)을 적용하였다. 실험군과 대조군에서 각각 교근의 지속적인 등척성 수축 전과 후의 주관적 통증강도, 압력통각역치, 인내시간까지의 근수축 동안 근전도 power spectrum을 측정 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지속적인 등척성 수축으로 유발된 근피로 후의 압력통각역치와 중간주파수는 근피로 유발 전보다 유의하게 감소하였다.
2. 근피로 유발 전과 후의 압력통각역치는 TENS를 적용한 실험군에서 통계적으로 유의하게 증가하였다.
3. 근피로로 유발된 압력통각역치의 변화량은 TENS를 적용한 실험군에서 유의하게 감소하였다.
4. 근피로 후의 주관적 통증강도는 TENS를 적용한 실험군에서 유의하게 감소하였다.
5. 인내시간은 TENS를 적용한 실험군에서 증가하였고, sham-TENS를 적용한 대조군에서는 감소하였으나, 모두 통계적 유의성은 나타나지 않았다.
6. 인내시간 동안 중간주파수 변화량은 TENS를 적용한 실험군에서 더욱 적게 감소하였고 중간주파수 변화의 기울기는 더욱 크게 증가하였으나 모두 통계적 유의성은 나타나지 않았다.

주제어: 경피성 신경자극, 근육통증, 근전도 power spectrum, 근피로, 압력통각역치, 주관적 통증강도

### I. 서 론

구강안면영역에서 나타나는 비치성 동통의 주된 원인으로 알려진 측두하악장애(Temporomandibular disorders)는 저작근, 측두하악관절 및 그와 관련된

구조물의 다양한 임상문제를 포함하는 포괄적 용어이다.<sup>1)</sup> 특히 저작근 통증은 구강안면통증의 치료를 위해 내원하는 환자들이 흔히 호소하는 문제 중 하나이다.<sup>2)</sup> 이러한 저작근 통증의 발생기전에 대해서는 근육의 비기능적 활성화, 자세성 근긴장, 과도한 수축이나 신장 등으로 유발된 근피로가 저작근 통증의 발생에 기여한다는 가설이 제시된 이래 많은 연구가 이루어져오고 있으나 아직까지 명확하게 밝혀지지 않았고, 다만 type III, IV 유해구심성섬유가 감작되거나 국소인자에 의해 활성화되어 통증을 일으키는 것으로 추측되고 있다.<sup>3)</sup>

근피로는 근육조직이 일정한 수축력을 유지하기 못하는 일시적인 상태로 정의되며, 피로상태의 골격근은 수축력이 감소하고 임상적으로 촉진시에 동통을 호소한다.<sup>4)</sup> 동통이란 조직 손상이나 잠재적인 조

교신저자 : 김 철

강원도 강릉시 지변동 강릉대학로 120

강릉대학교 치과대학

전화: 033-640-2459

Fax: 033-642-6410

E-mail: chkim@kangnung.ac.kr

원고접수일 : 2007-08-02

심사완료일 : 2007-11-05

\* 이 논문은 2005년도 강릉대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 수행되었음.

직손상과 관련된 불쾌한 감각 및 심리적 경험으로서, 동통이 갖는 다양하고 복잡한 양상, 그리고 동통에 대한 개인의 다양한 반응의 차이로 인해 동통의 역치를 정확히 평가하는 것은 매우 어려운 일이다. 일반적으로 주관적인 통증의 정량화에 가장 많이 이용되는 통증측정법은 Visual Analog Scale (VAS) 을 이용하는 방법이다. 즉 VAS 는 환자 스스로가 평가하는 주관적 통증강도 측정법이지만 질병의 심도와 비례하지 않을 수 있다는 단점이 있다.

근피로를 포함한 근육의 생리적 상태를 객관적으로 평가하는 방법에는 압력통각계를 이용한 근육의 압력통각역치 (Pressure Pain Threshold: PPT) 의 측정, 다양한 근전기적 신호를 측정분석하는 근전도 (Electromyography: EMG) 검사 등이 있다. 근육의 압력통각역치 측정은 높은 신뢰도가 입증되어 심부 근육통증의 지표로서 널리 이용되고 있으며 근막동통 환자와 긴장성 두통환자를 포함한 많은 만성 근육기원성 동통질환환에서 동통이 없는 정상인보다 낮은 압력통각역치가 보고되고 있다.<sup>5-10)</sup>

근전도는 근신경계의 기능을 평가하는 기구로서 Moyers 가 1949년에 치과영역에 처음 도입한 뒤로 널리 사용되어지고 있다. 근육의 다양한 생리학적인 상태를 반영하는 복잡한 근전기적 신호를 정량적으로 분석하는 방법 중에서 근전도 power spectrum 분석법은 sampling frequency 를 이용하여 얻은 신호를 FFT (Fast Fourier transformation) 에 의하여 주파수 형태로 전환시켜 분석하는 방법으로서 주로 근육의 피로에 대한 분석을 목적으로 이루어지고 있다.<sup>11)</sup> 많은 연구들에서 근수축이 지속되어 근피로가 진행될수록 근전도 신호의 power spectrum 은 저주파 영역으로 이동된다는 사실이 입증되어, 근전도 power spectrum 의 주파수분석은 근피로의 지표로 널리 이용되고 있다.<sup>12-14)</sup>

저작근 통증을 포함하는 측두하악장애의 치료법으로는 물리치료, 행동 및 심리치료, 약물치료, 교합안정장치치료, 교합치료, 외과적 치료 등이 있는데, 일반적으로 가역적 방법을 먼저 시행하며, 증상 및 징후의 개선이 나타나지 않는 경우에 비가역적 방법을 고려하게 된다. 물리치료는 대표적인 가역적인 치료법으로서 교합안정장치치료와 함께 측두하악장애의 치료를 위해 가장 많이 쓰이는 치료법이다.<sup>15)</sup> 구강안면통증의 물리치료에는 온열요법, 냉각요법과 함께 다양한 전기요법이 널리 이용되고 있다. 이 중 전기자극이 통증의 치료목적으로 활발히 사용하게 된 것은

Melzack 과 Wall 의 관문조절설이 대두되면서부터였다.

경피성 전기신경자극요법 (Transcutaneous Electric Nerve Stimulation: TENS) 은 일반적으로 고주파의 파장이 짧은, 중간강도의 자극을 가하여 큰 직경의 고유감각수용성 신경을 선택적으로 활성화시켜 작은 직경의 섬유에 의한 유해수용성 자극을 차단하거나 조절하여 통증을 감소시킨다.<sup>16)</sup>

1967년 Wall 과 Sweet 의 연구에서 통증조절을 위해 TENS 가 이용될 수 있음을 처음 보고한 이후로 많은 연구들에서 급성통증 뿐만 아니라 근막동통 (myofascial pain), 복합성 국소동통 증후군 (Complex Regional Pain Syndrome: CRPS), 섬유근통 (fibromyalgia) 등의 다양한 만성 근골격계 동통질환에서 통증완화효과가 보고되고 있다.<sup>16-21)</sup>

본 연구는 경피성 전기신경자극요법이 근피로와 근육통증에 미치는 영향을 평가하기 위해 저작근의 지속적인 등척성 수축을 통해 근피로와 근육통증을 유발하고 주관적 통증강도, 압력통각역치, 근전도 power spectrum 을 측정분석하여 경피성 전기신경자극의 임상효과를 평가하기 위해 시행되었다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 연구대상

측두하악장애의 병력과 현증이 없는 남자 18명 (27.8±5.0세), 여자 11명 (23.4±2.3세) 등 모두 29명 (26.1±4.7세)을 대상으로 하였다. 모든 피험자들은 본 연구의 목적 및 실험방법에 대해 충분한 설명을 듣고 자발적인 참여에 동의를 하였다.

### 2. 연구방법

#### 1) 연구설계

예비연구에서 주관적 통증강도 (Visual Analogue Scale: VAS), 압력통각역치 (Pressure Pain Threshold: PPT), 근전도 power spectrum 의 측정값은 좌, 우측 교근에서 통계적으로 유의한 차이가 없어서 본 연구에서는 우측 교근을 대상으로 하였다. 실험은 교차설계를 하여 적어도 3일 이상 간격을 두고 양일간 수행되었다. 즉, 무작위로 양일 중 하루는 실험군으로서 TENS 를 적용하였고, 다른 하루는 대조군으로서 sham-TENS 를 적용하였다. 지속적인 등척

성 수축으로 유발된 근피로 전과 후의 주관적 통증강도, 압력통각역치, 근전도 power spectrum 을 TENS/sham-TENS 를 적용하기 전과 후에 반복측정하였다.

머리를 편하게 고정할 수 있는 치과진료용 의자에 피험자를 앉히고, 안정상태에서 우측 교근의 표층부 하방 1/3 부위의 주관적 통증강도와 압력통각역치를 측정 한 뒤, 피험자에게 정상적인 구치부 교합으로 최대한 이를 악물게 하여 근전도상에 나타나는 최대 진폭 (peak to peak amplitude) 값을 측정하였다. 이 과정을 3회 반복하여 각 측정치 중 최대값을 최대 수의 적 등척성 수축력 (Maximum Voluntary Contraction : MVC) 으로 정하였다. 5분간 휴식 후 피험자로 하여금 근전도 기기와 연결된 컴퓨터 화면에 나타나는 파형을 보면서 MVC의 70% 수준을 일정하게 유지하면서 이악물기를 하게 하여 실험적으로 근피로를 유발하였다. 더 이상 MVC의 70% 수준을 지속할 수 없을 때까지의 인내시간 (endurance time) 과 근전도 power spectrum 을 기록하였다. 피험자가 더 이상 MVC의 70% 수준을 유지할 수 없게 되면 이악물기를 중단시키고, 즉시 같은 부위의 압력통각역치와 주관적 통증강도를 측정하였다.

첫째 날에 무작위로 실험군으로 선택된 피험자는 TENS 를 45분간 적용한 직후에 다시 안정 상태에서 압력통각역치와 주관적 통증강도를 측정 한 후 MVC 의 70% 수준을 일정하게 유지하면서 이악물기를 하게 하였다. 인내시간 동안의 중간주파수를 기록하였고 피험자가 더 이상 MVC의 70% 수준을 유지할 수 없게 되면 이악물기를 중단시키고, 근피로 후의 압력통각역치와 주관적 통증강도를 측정하였다. 둘째 날에는 대조군으로서 sham-TENS 를 적용할 때 표면전극만 부착한 채 전기자극 없이 45분 경과 후 상기 평가항목을 동일한 방법으로 측정하였다.

## 2) 압력통각역치 (Pressure Pain Threshold: PPT)

압력통각역치는 압력통각계 (Electric Algometer<sup>®</sup>, Somedic Production AB, Stockholm, Sweden) 를 이용하여 측정하였다. 1cm<sup>2</sup> 의 원형탐침을 부착한 다음, 대상자에게 기준점으로써 전두부 (frontal site)에 압력통각계를 적용하여 처음으로 통각이 느껴질 때의 압력을 압력통각역치라고 충분히 교육한 뒤에 우측 교근의 하방 1/3 부위에 수직방향으로 40 kPa/sec 의 힘으로 적용하여 2회 반복측정하였고 그 평균값을 통계분석에 이용하였다. 객관성을 확보하기 위하여 실험

자나 피험자 모두 계기판을 보지 않고 측정하였다.

## 3) 주관적 통증강도 (VAS: Visual Analogue Scale)

피험자가 실험적으로 유발된 근피로의 전과 후에 느끼는 주관적인 통증강도를 100 mm scale 의 visual analog scale 로 측정하였다.

## 4) 근전도 power spectrum

근전도의 기록은 Nicolet Viking IV electrodiagnostic system<sup>®</sup> (Nicolet Biomedical Inc., Madison, Wisconsin, U.S.A.) 을 이용하였다. 근전도의 기록을 위해서 원반형의 pre-gelled Ag/AgCl 표면전극 (Nicolet Biomedical Inc., Madison, Wisconsin, U.S.A.) 을 이용하였다. 우측 교근의 측정부위를 알콜솜으로 닦은 뒤, 활성전극 (active electrode) 을 부착하고, 이 전극과 2.5cm 의 거리를 두고 같은 교근에 기준전극 (reference electrode) 을 부착하였다. 피험자가 MVC의 70% 수준을 유지하는 동안 근전도 power spectrum 의 중간주파수 (median frequency) 와 중간주파수의 기울기 (slope of median frequency shift) 를 측정하였다.

## 5) 경피성 전기신경자극 (TENS/sham-TENS)

실험군의 피험자들에게 1.5 초 간격으로 지속시간 500  $\mu$ sec 의 전기자극이 전달되도록 설정된 Myomonitor J-4<sup>®</sup> (Myotronics Inc., Tukwila, WA, U.S.A.) 를 이용하여 low frequency TENS 를 적용하였다. 알콜솜으로 교근 하방 1/3 부위를 포함하는 전이개 부위를 깨끗이 닦은 후 양측 외이도 전방의 coronoid notch 부위에 활성전극을 부착하여 5,7 번 뇌신경이 동시에 자극되도록 하였고, 비활성전극은 hairline 직하방의 후두부 아래의 중앙에 부착한 뒤 피험자의 근육수축이 일어나면서 통증을 느끼기 전까지 진폭을 조절 한 상태에서 45분간 적용하였다. 대조군의 피험자들은 실험군과 모든 조건이 동일한 상태에서 단지 자극강도를 0 으로 유지한 상태로 45분간 적용하였다.

## 3. 통계분석

검사결과는 SPSS 통계프로그램을 이용하여 *t*-검정으로 TENS 와 sham-TENS 를 적용했을 때 측정 한 근피로 전과 후의 압력통각역치, 압력통각역치의 변화량, 주관적 통증강도, 피로를 유발하는 지속적인

근수축동안의 인내시간, 중간주파수의 변화량, 중간주파수의 기울기 등의 차이를 분석하였다.

### III. 결 과

Table 1 은 TENS/sham-TENS 를 적용하기 전과 후, 지속적인 등척성 수축 전과 후에 측정된 주관적 통증강도, 압력통각역치, 압력통각역치의 변화량, 인내시간, 중간주파수의 변화량, 중간주파수 변화의 기울기의 평균과 표준편차를 나타낸다.

모든 피험자가 3일 이상의 간격을 두고 실험군과 대조군으로서 실험에 참여했기 때문에 피험자가 동일조건에서 실험이 수행되었는지를 평가하기 위해 TENS 와 sham-TENS 를 적용하기 전에 측정한 (pre TENS vs. pre sham-TENS) 압력통각역치, 주

관적 통증강도, 인내시간, 중간주파수값 등의 모든 평가항목은 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

TENS 와 sham-TENS 를 적용하기 전과 후의 모든 시기에서 실험적으로 유발된 근피로 후의 압력통각역치 (PPT after fatigue) 가 근피로 유발 전 (PPT before fatigue) 보다 감소하였다.

근피로 유발 전의 압력통각역치 (PPT before fatigue) 는 sham-TENS 를 적용하기 전과 후 사이에 통계적으로 유의한 변화가 없었으나 TENS 를 적용한 후에는 통계적으로 유의하게 증가하였다 ( $p < 0.001$ ).

근피로 유발 후의 압력통각역치 (PPT after fatigue) 도 역시 sham-TENS 를 적용하기 전과 후 사이에는 유의한 변화가 없었으나 TENS 를 적용한 후에는 통계적으로 유의하게 증가하였다 ( $p = 0.000$ ).

Table 1. The values (mean  $\pm$  SD) of visual analogue scale (VAS), pressure pain threshold (PPT), median frequency (MF) of EMG power spectrum measured before and after TENS/sham-TENS application.

	pre TENS	post TENS	pre sham-TENS	post sham-TENS	significant difference (p value) between		
					pre TENS & pre sham-TENS	pre TENS & post TENS	pre sham-TENS & post sham-TENS
VAS before fatigue	0	0	0	0			
PPT before fatigue	168.6 $\pm$ 42.2	187.4 $\pm$ 41.8	170.4 $\pm$ 46.3	168.5 $\pm$ 40.2	0.788	0.001	0.722
PPT after fatigue	138.0 $\pm$ 35.0	170.2 $\pm$ 40.7	140.5 $\pm$ 38.4	132.8 $\pm$ 44.5	0.630	0.000	0.129
VAS after fatigue	44.6 $\pm$ 18.1	29.8 $\pm$ 16.6	41.6 $\pm$ 17.1	38.5 $\pm$ 20.6	0.196	0.000	0.162
$\Delta$ PPT	30.7 $\pm$ 15.6	17.1 $\pm$ 21.2	29.9 $\pm$ 17.8	35.6 $\pm$ 13.9	0.829	0.010	0.210
endurance time	36.7 $\pm$ 12.7	39.9 $\pm$ 13.9	36.6 $\pm$ 13.8	35.1 $\pm$ 13.7	0.975	0.130	0.400
slope of MF shift	-3.219 $\pm$ 2.497	-2.827 $\pm$ 1.725	-3.105 $\pm$ 2.042	-2.802 $\pm$ 1.790	0.811	0.249	0.324
$\Delta$ MF	43.45 $\pm$ 33.73	41.03 $\pm$ 24.98	43.10 $\pm$ 30.37	40.34 $\pm$ 25.42	0.957	0.619	0.567

pre TENS : before TENS application

post TENS : after TENS application

pre sham-TENS : before sham-TENS application

post sham-TENS : after sham-TENS application

VAS before fatigue : VAS before sustained fatiguing contraction

VAS after fatigue : VAS after sustained fatiguing contraction

PPT before fatigue : PPT before sustained fatiguing contraction

PPT after fatigue : PPT after sustained fatiguing contraction

$\Delta$  PPT : the difference between PPT before fatigue and PPT after fatigue

$\Delta$  MF : the difference of median frequency between beginning and end of sustained fatiguing contraction

sham-TENS 를 적용한 대조군은 근피로로 유발된 압력통각역치의 변화량 ( $\Delta$  PPT) 이 증가하였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었는데 반해서, TENS 를 적용한 실험군은 압력통각역치의 변화량 ( $\Delta$  PPT) 이 유의하게 감소하였다 ( $p=0.010$ ).

근피로 후 주관적 통증강도 (VAS after fatigue) 는 실험군과 대조군에서 각각 TENS 와 sham-TENS 를 적용한 후에 모두 감소하였으나 통계적으로 유의한 차이는 실험군에서만 나타났다 ( $p=0.000$ ).

인내시간은 실험군에서는 TENS 적용 후 약간 증가하였고, 대조군에서 sham-TENS 적용 후 약간 감소하였으나, 모두 통계적 유의성은 나타나지 않았다. 피로를 유발하는 지속적인 근수축 동안 중간주파수 변화량 ( $\Delta$  MF)은 대조군보다 실험군에서 약간 적게 감소하였고 중간주파수 변화의 기울기 (slope of median frequency shift) 는 대조군보다 실험군에서 더욱 크게 증가하였으나 모두 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

#### IV. 고 찰

압력통각역치는 심부조직의 통증을 평가하기 위해 널리 이용되는 방법으로서 근막동통, 긴장성두통, 섬유근통 등의 근육기원성 통증에서 정상 대조군보다 낮은 압력통각역치가 보고되었고, 그 기전으로서 근육이 수축하는 동안 근육의 허혈로 인한 기계유해수용기 (mechanonociceptor) 의 민감화 (sensitization) 나 동통 조절과정의 이상으로 인해 압력통각역치가 낮아진다고 설명되고 있다.<sup>10,22,23)</sup>

본 연구에서도 지속적인 등척성 수축으로 유발된 근피로와 근육통증 상태에서의 압력통각역치는 유의하게 감소하였다. Sham-TENS 는 근피로 유발 전과 후의 압력통각역치에 아무런 변화를 주지 않았으나 TENS 를 적용한 후에는 압력통각역치가 유의하게 증가하였고, TENS 의 통증감소 효과를 간접적으로 평가하기 위해 측정된 지속적인 등척성 수축 전과 후의 압력통각역치의 변화량은 TENS 적용 후 유의하게 감소하여, 근피로로 유발된 근육통증을 감소시키는 효과를 관찰할 수 있었다.

지속적인 등척성 수축으로 유발된 근육통증에 대한 피험자들의 주관적인 통증강도도 압력통각역치와 함께 TENS 적용 후에 유의하게 감소하였다.

근전도 power spectrum 분석은 국소 근피로를 나타내는 지표로써 널리 이용되고 있다.<sup>12,14,24)</sup> 정량분

석에 이용되는 척도에는 평균주파수 (mean frequency), 중간주파수 (median frequency), 고주파 구성성분에 대한 저주파 구성성분의 비율 등이 있으나 이 중 중간주파수가 잡음 (noise) 에 가장 덜 민감하여 대부분의 power spectrum 분석에 있어서 가장 선호되는 척도로 알려져 있다.

많은 연구들에서 근수축이 지속되어 피로도가 증가할수록 근전기적 신호 (myoelectrical signal) 의 power spectrum 은 저주파영역으로 이동된다는 사실이 입증되었다.<sup>11,12,14,25,24)</sup> 저작근의 지속적인 수축시 근전도 power spectrum 이 저주파영역으로 변화를 일으키는 기전으로는 활동전위 전도속도 (action potential conduction velocity) 의 감소설, 활동전위형태 (action potential shape) 의 변화설, 운동단위 (motor unit) 의 동시화 (synchronization) 설, 운동단위의 보충 (recruitment) 설 등이 있으며, 이 중에서 근섬유를 따라 주행하는 활동전위의 전도속도의 감소가 power spectrum 의 형태를 변화시키는 가장 주요한 요인이라고 하였다.<sup>4,24-26)</sup> 지속적인 근수축으로 유발된 근피로와 관련된 생리학적 요인들로는  $Ca^{2+}$ , glycogen, adenosine triphosphate (ATP) 의 감소와 젖산 등의 축적 등이 제시되고 있는데, Lindstrom 등은 근육이 지속적으로 수축하는 동안 근육내 혈액순환이 억제되고 조직의 산소요구량이 충족되지 못하게 되어 에너지 대사가 저효율의 혐기성 에너지 대사로 전환하면서 대사과정으로 발생한 노폐물이 신속하게 제거되지 못하고 산성 대사산물이 점차 축적된다고 하였다. 이 때 산소부족보다는 대사산물의 축적이 근피로의 발생에 더욱 중요한 요인으로 생각되고 산성 대사산물의 발생으로 인해 세포내 pH 가 낮아지면 세포막의 흥분성이 감소하여 활동전위 전도속도의 감소와 근전도 power spectrum 의 변화가 초래된다고 하였다.<sup>27)</sup>

본 연구에서는 중간주파수의 변화 양상을 지속적인 근수축 시작과 종료시의 중간주파수의 변화량과 근수축동안 중간주파수가 변화하는 기울기로 평가하였다. TENS/sham-TENS 를 적용하기 전과 후 모두에서 지속적인 근수축 후 근피로가 발생하면서 중간주파수는 감소하였다. 비록 통계적 유의성은 없었으나 지속적인 근수축 동안 중간주파수의 변화량은 TENS 를 적용한 경우 더욱 적게 감소하였고, 중간주파수 변화의 기울기는 더욱 크게 증가하여 TENS 가 근수축으로 인한 근피로도를 감소시키는 경향을 관찰하였다. 더불어 대상이 지속적인 등척성 근수축을

시작한 시점부터 더 이상 근수축을 유지하지 못하는 시점까지의 시간을 의미하는 인내시간 (endurance time) 도 통계적 유의성은 없었으나, sham-TENS 적용 후에는 감소한 반면, TENS 적용 후에는 약간 증가하였다. 인내시간과 근전도 power spectrum 의 중간주파수 변화 양상을 분석한 결과, TENS 적용은 지속적인 근수축으로 인한 근피로를 감소시키는 경향을 관찰할 수 있었다.

Thomas 는 근전도 power spectrum 을 분석하여 근육 수축으로 유발된 근피로는 자연스러운 휴식보다 TENS 치료에 의해서 더욱 효과적으로 감소된다고 하였고, Frucht 등과 Montes Molina 등은 저작근에 대한 TENS 치료 결과 중간주파수가 증가함을 관찰하고, 이는 근피로시에 나타나는 주파수 변화양상과 상반되는 결과로서, TENS 가 근육을 이완시키는 효과가 있음을 제시하는 객관적인 증거라고 설명하였다.<sup>28-30)</sup> Eble 등은 이러한 근전도 power spectrum 의 변화는 TENS 가 근육세포 내 전해질 농도의 변화와 대사산물의 축적으로 유발된 근피로를 해소시키기 위해 혈류량을 증가시키고 조직의 온도를 상승시켜서 대사산물을 능동적으로 제거하거나, 다른 한편으로는 전기자극이 가해지는 동안 K<sup>+</sup>이온 등을 재구성하여 근육을 정상상태로 회복시킨다고 하였다. 그 결과 근섬유의 흥분성이 증가하고 효과적인 근수축이 가능해져서 근육기능이 재생되고, 다른 한편으로 고유감각수용성 되먹임기전 (proprioceptive feedback system) 의 변화를 정상화시켜서 근피로를 회복시킨다고 설명하였다.<sup>31)</sup>

통증을 조절하는 여러가지 비침습적인 물리치료법 중에서 경피성 전기신경자극 (TENS) 은 작고, 이동 가능하고, 건전지에 의해 작동되는 기기이며, 거의 부작용이 없으므로 사용시 주의사항만 잘 숙지한다면 환자 스스로 집에서 시행할 수 있는 효과적인 자가치료법이 될 수 있다. 일반적으로 TENS 는 운동신경이 흥분을 하지 못하도록 역치이하의 일정한 크기의 전류강도와 자극시간 그리고 전류의 변화속도를 이용하여 감각신경을 자극하여 통증을 감소시킨다.

통상적인 TENS (Conventional TENS, high frequency TENS) 는 고빈도 (50~100 Hz), 저강도 (10~30mA) 의 전류로 근육의 수축이 유발되지 않을 정도의 범위 내에서 지각이상 같은 감각 (paresthesia-like sensation) 을 느낄 때까지 전류강도를 상승시켜 편안함을 느끼는 낮은 강도로 15~45 분간 자극함으로써 큰 직경의 Aβ 섬유를 자극하여

내분비성 아편제의 분비없이 하행성억제기전 (descending inhibitory mechanism) 을 활성화시킨다. 이러한 효과는 전기자극 10~20분 이내에 진통작용이 나타나 자극 후 20~30분 정도 지속되어 통증감소 효과가 비교적 빠르게 나타나지만 효과의 지속시간이 짧아 급성통증을 치료하는데 많이 사용한다.

반면에, 저빈도-고강도 TENS (low frequency TENS) 는 저빈도 (0.5~10 Hz), 고강도 (30~80mA) 의 전류로 강하게 자극하여 직경이 작은 유해수용성 구심섬유와 운동섬유를 활성화시킨다. 전기자극 후 20~30분 경과 후에 진통작용이 나타나고 자극 후 2~6시간 정도 지속되어 비교적 진통효과가 느리게 나타나지만 효과지속시간이 길어 만성통증을 치료하는데 많이 사용한다. β-endorphin 같은 내분비성 아편제의 분비효과가 있어서 naloxone 으로 그 효과가 차단될 수 있다. 이 같은 진통효과 외에도 근육을 이완시키고 국소 혈액순환을 증가시키기 때문에 low frequency TENS 는 근막동통 환자의 치료에도 효과적이라고 보고되고 있다.

Sabino 등은 동물실험에서 급성염증으로 인한 통증의 조절에 high frequency (130 Hz) TENS 와 low frequency (10 Hz) TENS 를 적용한 결과 모두 통증이 감소된다고 하였다. low frequency TENS 는 통증감소효과가 더욱 오래 지속되었고 부분적으로 내분비성 아편제의 유리를 통한 기전도 존재함을 보고하였다. 특히 전기자극을 전달하기 위한 활성전극을 염증부위의 반대쪽에 적용한 경우에도 통증이 감소되어, 창상으로 인해 직접 전극을 위치시키기 어려운 부위의 통증조절에도 TENS 가 효과적일 수 있음을 보고하였다.<sup>19)</sup> Wieselmann-Penkner 등은 TENS 에 의한 운동신경의 직접적인 자극이 저작근으로 하여금 율동적인 수축을 일으켜 골격근의 반복적인 탈분극이 국소혈액순환과 산소공급을 증가시켜 간질성 부종 (interstitial edema) 과 유해자극성 대사산물의 축적을 감소시켜서 근육을 이완시키고 통증을 감소시킨다고 하였다.<sup>32)</sup> Kamyszek 등은 삼차신경과 안면신경에 low frequency TENS 를 적용하여 과활성된 저작근과 이완상태의 저작근 모두에서 안정시 근전도 활성이 감소된다고 하였다.<sup>33)</sup>

이상과 같이 통증의 관문조절이론, 내분비성 동통억제물질 분비기전의 활성화, 근육조직 대사과정의 회복 등의 작용기전 외에도 TENS 의 저작근 이완효과에는 최면효과 (hypnosis), 외수용성 억제 (exteroceptive suppression), 반대자극 (counterirritation),

교감신경계 활성의 감소 등도 부분적으로 작용한다고 알려져 있다.<sup>34)</sup>

저자는 본 연구결과를 통해 구강안면통증의 치료를 위해 내원하는 환자들이 흔히 호소하는 임상증상 중 하나인 근육기원성 통증과 이갈이를 호소하는 환자들에서 과활성된 근육을 이완시키고 통증을 감소시키기 위해 이용하는 TENS의 임상적 유용성을 확인할 수 있었다. 향후 이같은 TENS의 통증감소효과가 어느 정도 지속되는지와 함께 또 다른 전기치료법이나 약물치료와의 임상적 치료효과를 비교하는 추가연구가 진행되어야 할 것이다.

## V. 결 론

경피성 전기신경자극(TENS)이 근피로와 근육통증에 미치는 영향을 평가하기 위해 측두하악장애의 병력과 현증이 없는 29명의 정상 성인(남자 18명, 여자 11명)을 대상으로 교차설계를 하여 하루는 실험군으로서 TENS를 적용하였고, 적어도 3일 이상의 간격을 두고 다른 하루는 대조군으로서 sham-TENS를 적용하였다. 실험군과 대조군에서 각각 교근의 지속적인 등척성 수축 전과 후의 주관적 통증강도, 압력통각역치, 인내시간까지의 근수축 동안 근전도 power spectrum을 측정 후 통계분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지속적인 등척성 수축으로 유발된 근피로 후의 압력통각역치와 중간주파수는 근피로 유발 전보다 유의하게 감소하였다.
2. 근피로 유발 전과 후의 압력통각역치는 TENS를 적용한 실험군에서 통계적으로 유의하게 증가하였다.
3. 근피로로 유발된 압력통각역치의 변화량은 TENS를 적용한 실험군에서 유의하게 감소하였다.
4. 근피로 후의 주관적 통증강도는 TENS를 적용한 실험군에서 유의하게 감소하였다.
5. 인내시간은 TENS를 적용한 실험군에서 증가하였고, sham-TENS를 적용한 대조군에서는 감소하였으나, 모두 통계적 유의성은 나타나지 않았다.
6. 인내시간 동안 중간주파수 변화량은 TENS를 적용한 실험군에서 더욱 적게 감소하였고 중간주파수 변화의 기울기는 더욱 크게 증가하였으나 모두 통계적 유의성은 나타나지 않았다.

이상의 결과를 바탕으로 TENS는 저작근의 과활성으로 인한 근피로를 감소시키는 경향과 함께 통각역치를 유의하게 증가시키고 주관적인 통증인지를 감소시키는 임상효과를 확인할 수 있었다. 따라서 TENS는 저작근의 이상기능활성이 동반된 만성구강안면통증 환자들의 통증조절에 있어서 간편하고 유용한 보조요법이라고 할 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. Bell WE. Orofacial pains. Classification, Diagnosis, Management. 4th ed., Chicago, 1989, Year Book Medical Publishers, pp.101-113.
2. Schiffman EL, Friction JR, Haley DP *et al.* The prevalence and treatment needs of subjects with temporomandibular disorders. J Am Dent Assoc 1990;120:295-303.
3. Laskin DM. Etiology of the pain dysfunction syndrome. J Am Dent Assoc 1969;79:147-153.
4. Mao J, Stein RB, Osborn JW. Fatigue in human jaw muscles : A review. J Orofac Pain 1993;7:135-142.
5. Fisher AA. Pressure algometry over normal muscles. Standard values, validity and reproducibility of pressure threshold. Pain 1987;30:115-126.
6. Chung SC, Um BY, Kim HS. Evaluation of pressure pain threshold in head and neck muscles by electronic algometer : Intrarater and interrater reliability. J Craniomand Pract. 1992;10(1):28-34.
7. Langemark M, Jensen K, Jensen TS *et al.* Pressure pain thresholds and thermal nociceptive thresholds in chronic tension-type headache. Pain 1989;38:203-210.
8. Ohrbach R, Gale EN. Pressure thresholds, clinical assessment, and differential diagnosis : Reliability and validity in patients with myogenic facial pain. Pain 1989;39:157-169.
9. Jensen K. Quantification of tenderness by palpation and use of pressure algometers. In Friction JR, Awad E(Eds). Advances in pain Research and Therapy. New York, 1990, Raven Press Ltd., pp.165.
10. McMillan AS, Blasberg B. Pain-pressure threshold in painful jaw muscles following trigger point injection. J Orofac Pain 1994;8(4):384-390.
11. Kim YJ, Lee SW. A study on electromyographic power spectral analysis of masticatory muscles. J Dent Coll SNU 1990;14:185-201.
12. Bostel AV, Goudswaard P, Molen GM *et al.* Changes in electromyogram power spectra of facial and jaw-elevator muscles during fatigue. J Appl Physiol

- 1983;54:51-57.
13. Celichowski J, Grottel K, Rakowska A. Changes in motor unit action potentials during the fatigue test. *Acta Neurobiol Exp* 1991;51:145-155.
  14. Naeije M, Zorn H. Changes in the power spectrum of the surface electromyogram of the human masseter muscle due to local muscular fatigue. *Archs oral Biol* 1981;26:409-412.
  15. Kim YJ, Kim C. A review of physical therapy modalities for patients with temporomandibular disorders(TMDs) caused by dental treatment. *J Korean Dent Assoc* 2006;44(11):711-718.
  16. Francini F, Maresca M, Procacci P *et al*. The effects of non-painful transcutaneous electrical nerve stimulation on cutaneous pain threshold and muscular reflexes in normal men and in subjects with chronic pain. *Pain* 1981;11(1):49-63.
  17. Somers DL, Clemente FR. Transcutaneous electrical nerve stimulation for the management of neuropathic pain: The effects of frequency and electrode position on prevention of allodynia in a rat model of complex regional pain syndrome type II. *Phys Ther* 2006;86(5):698-709.
  18. Johnson M, Martinson M. Efficacy of electrical nerve stimulation for chronic musculoskeletal pain: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Pain* 2007;130:157-165.
  19. Sabino GS, Santos CM, Francischi JN *et al*. Release of endogenous opioids following transcutaneous electric nerve stimulation in an experimental model of acute inflammatory pain. *J Pain* 2007; Nov 5: Epub ahead of print.
  20. Wall PD, Sweet WH. Temporary abolition of pain in man. *Science* 1967;155(758):108-109.
  21. Offenbacher M, Stucki G. Physical therapy in the treatment of fibromyalgia. *Scand J Rheumatol Suppl* 2000;113:78-85.
  22. Sandrini G, Antonaci F, Pucci E *et al*. Comparative study with EMG, pressure algometry and manual palpation in tension-type headache and migraine. *Cephalgia* 1994;14:451-457.
  23. Kosek E, Ekholm J, Hansson P. Modulation of pressure pain thresholds during and following isometric contraction in patients with fibromyalgia and in healthy controls : Research reports. *Pain* 1996;64:415-423.
  24. Palla S, Ash MM. Power spectral analysis of the surface electromyogram of human jaw muscles during fatigue. *Archs Oral Biol* 1981;26:547-553.
  25. Chung JW, Kim C, McCall WD Jr. Effect of sustained contraction on motor unit action potentials and EMG power spectrum of human masticatory muscles. *J Dent Res* 2002;81(9):646-649.
  26. Lindstrom L, Magnusson R, Petersen I. Muscular fatigue and action potential velocity changes studied with frequency analysis of EMG signals. *Electromyography* 1970;4:341-356.
  27. Lindstrom L, Helsing G. Masseter muscle fatigue in man objectively quantified by analysis of myoelectric signals. *Archs Oral Biol* 1983;28:297-301.
  28. Frucht S, Jonas I, Kappert HF. Muscle relaxation by transcutaneous electric nerve stimulation (TENS) in bruxism. An electromyographic study. *Fortschr Kieferorthop* 1995;56(5):245-253.
  29. Montes Molina R, Tabernero Galan A, Martin Garcia MS. Spectral electromyographic changes during a muscular strengthening training based on electrical stimulation. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1997;37(5):287-295.
  30. Thomas NR. The effect of fatigue and TENS on the EMG mean power frequency. *Front Oral Phys* 1990;7:162-170.
  31. Eble OS, Jonas IE, Kappert HF. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS): Its short-term and long-term effects on the masticatory muscles. *J Orofac Orthop* 2000;61(2):100-111.
  32. Wieselmann-Penkner K, Janda M, Lorenzoni M *et al*. A comparison of the muscular relaxation effect of TENS and EMG-biofeedback in patients with bruxism. *J Oral Rehabil* 2001;28(9):849-853.
  33. Kamyszek G, Ketcham R, Garcia R Jr *et al*. Electromyographic evidence of reduced muscle activity when ULF-TENS is applied to the Vth and VIIth cranial nerves. *Cranio* 2001;19(3):162-168.
  34. Galletti SP, Bergamini M, Pantaleo T. Highlights in the subject of low frequency-high intensity TENS (review). *Minerva Stomatol* 1995;44(9):421-429.



- ABSTRACT -

The Effects of Transcutaneous Electric Nerve Stimulation (TENS) on the EMG Power Spectrum and Pressure Pain Threshold (PPT)

Cheul Kim, D.D.S.,M.S.D., Moon-Soo Park, D.D.S.,M.S.D.,Ph.D.

*Department of Oral Medicine and Diagnosis & Research Institute of Oral Science College of Dentistry,  
Kangnung National University*

This investigation was carried out to evaluate the effect of Transcutaneous Electric Nerve Stimulation (TENS) to experimentally induced masticatory muscle pain and muscular fatigue. Twenty-nine healthy volunteers (18 men and 11 women, aged  $26.1 \pm 4.7$  years) without past history or present symptoms of temporomandibular disorders were participated in this study. All of the subjects were randomly assigned to experimental group and control group, after at least 3 days interval, two groups were reassigned conversely. Subjects assigned to experimental group were received TENS and others assigned to control group were received sham-TENS therapy for 45 minutes, respectively. The changes of Visual Analogue Scale (VAS), Pressure Pain Threshold (PPT), and EMG power spectrum were measured on the masseter muscle both before and after sustained fatiguing contraction in each group. The major findings of this study are as follows :

1. PPTs and median frequencies of masseter muscles were significantly decreased after sustained isometric contraction resulting in muscular fatigue.
2. In experimental group received TENS therapy, PPTs measured both before and after occurrence of experimentally induced muscular fatigue were significantly increased.
3. In experimental group received TENS therapy, the changes of PPTs during sustained isometric contraction resulting in muscular fatigue were significantly decreased.
4. In experimental group received TENS therapy, VAS measured after occurrence of experimentally induced muscular fatigue was significantly decreased.
5. Although there were not statistical significances, endurance time was increased in experimental group received TENS therapy and decreased in control group received sham-TENS therapy.
6. In experimental group received TENS therapy, the changes of median frequencies were the less decreased and the slope of median frequency shift was the more increased during endurance time than in control group, however, there were not statistical significances.

Key words: EMG power spectrum, Masticatory muscle pain, Muscular fatigue, Pressure Pain Threshold, Transcutaneous Electric Nerve Stimulation, Visual Analogue Scale

---