

족저근막염 환자의 미세전류발생 신발 착용이 족부 근피로 및 통증 완화에 미치는 영향

박래준, 최상준¹, Goh Ah Cheng², 조미숙³, 조정선⁴, 이윤미⁴, 조용호⁵, 박소현⁵

대구대학교 재활과학대학 물리치료학과, ¹평화신경외과의원, ²日本 信州大學 醫學部 理學療法 專攻, ³영동대학교 물리치료학과, ⁴대구대학교 대학원 물리치료전공 박사과정, ⁵대구대학교 대학원 물리치료전공 석사과정

Effects of Induced Microcurrent Shoes on Fatigue and Pain in Painful Foot to Patients with Plantar Fasciitis

Rae-Joon Park, PT, PhD, Sang-Joon Choi, MD¹, Goh Ah Cheng, PT, PhD², Mi-Suk Cho, PT, MS³, Jeong-Sun Cho, PT, MS⁴, Yoon-Mi Lee, PT, MS⁴, Yong-Ho Cho, PT⁵, So-Hyun Park, PT⁵

Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation Science, Daegu University, ¹Pyounghwa Neurosurgery Clinic, ²Department of Physical Therapy, Shinshu University, ³Department of Physical Therapy, Youngdong University, ^{4,5}A Physical Therapy Major, Graduate School of Rehabilitation Science, Daegu University

Purpose: This study was to investigate how induced microcurrent shoes affect relief of feet pain, which often occurs to persons who are more than fifty years old and how they prevent fatigue of feet generated during everyday life. The subjects of this study were comprised of five males and five females, who agreed with this research and are more than fifty years old. And they all have plantar faciitis and pain in their feet. **Methods:** Subjects wore the induced microcurrent shoes for more than 4 hours everyday during the test. When they wore those shoes, they also wore the specially produced shocks made of silver-mixed thread and they were asked to avoid serious exercise. Prior to starting test and after the test, assessments were carried out two times. In the examination before the test, general shoes were used and in examination after the test, induced microcurrent shoes used. Muscle fatigue was measured by electromyography (MP150, Biopac, USA). When the walking rate of subjects on a treadmill was increased from 2Km/h to 3Km/h for 10 minutes, muscle activities of a lower leg were measured during the whole walking process by MP150 remote monitoring system(TEL 100C). And pain was measured by VAS. **Results:** The results are as follows: 1. Comparisons of VAS before and after experimentation showed that degree of pain was significantly decreased(p < .05). 2. Degree of fatigue of Tibialis anterior was significantly decreased after 6 weeks of treatment(p < .05). 3. Degree of fatigue of Soleus was slightly decreased after 6 weeks of treatment, but did not show significant difference (p > .05). **Conclusion:** The above results suggest that induced microcurrent shoes is helpful decreasing fatigue of feet and relief of feet pain. (*J Kor Soc Phys Ther* 2006;18(1);1-10)

Key Words: Microcurrent shoes, Fatigue, Pain, EMG

I. 서 론

전기, 전기자극, 그리고 전자기장(electromagnetic field)의 사용은 의학에서 새로운 방법이 아니다. 생체에 전기자극을 하면 생리학적, 병리학적으로 변화를 초래시킨다는 것은 이미 오래전부터 알려져 있었다. 전기자극은 1739년 이탈리아의 해부학교수인 Galvani가 개구리

논문접수일: 2005년 12월 19일
수정접수일: 2006년 2월 1일
게재승인일: 2006년 2월 11일
교신저자: 조미숙, 충북 영동군 영동읍 설계리 산12-1 영동대학교 물리치료학과,
e-mail:mscho@youngdong.ac.kr

를 사용하여 직류로 실험을 한 후 많은 학자들이 저주파 전류인 감응전류 (faradic current)나 정현파전류 (sinusoidal current)를 사용하여 동물이나 사람에게 적용해 왔다(박래준, 1983).

미세전류는 경피신경전기자극이나 감응전류 같은 다른 전기자극치료 방법보다 전류강도가 극히 작기 때문에 제한된 치료방법으로 이해를 하고 있다. 종래에 사용되어 왔던 저주파 치료기, 경피신경자극 치료기는 모두 출력 전류가 밀리암페어 (mA) 단위로 자극되고 있다. 그러나 최근에는 환자에게 전체 전류량은 줄이고 전압은 높여서 효과를 극대화 하기위한 마이크로암페어 (μ A) 단위의 미세전류 치료가 사용되고 있다. 미세전류는 생체전기의 의미를 이해하면 쉽게 이해 할 수 있다.

Becker(1962)는 “상처의 전류를 측정할 수 있다고 하였고 이 전류가 상처부위의 뉴런을 둘러싼 신경초를 통하여 전도되어 조직의 회복과 재생이 시작된다는 가설을 제시하였다. 또한 Illingworth와 Barker(1980)는 한 어린이의 손톱이 절단된 부위에서 발생한 전기를 측정하였는데 이 부위의 전류가 10-30 μ A/cm²범위의 미세전류임이 발견되었다. 미세전류는 세포의 생리와 성장을 자극하는 능력 때문에 “생물학적 자극,, 또는 “생체공학적 요법,,이라고도 한다. 미세전류에 대한 연구로는 Cheng(1982)의 ATP생성, 단백질 합성, 세포막 투과에 대한 다양한 전류강도에 따른 생리학적 효과를 연구하였다. 불유합 골절에 대한 효과, 최근에는 암 환자에서 방사선 치료 중 발생한 섬유증의 관리(Lennox 등, 2002), 요통치료(McMakin, 2004), 만성 아킬레스건 통증의 치료(Chapman와 Hill, 2002)의 보고가 있고, 국내에서는 지연성 근육통에 대한 미세전류의 효과(정영중 등, 2000) 교감신경 긴장도에 미치는 효과(박래준, 1997), 상처치유 효과(권원안 등, 2000), 치주조직 재생 효과(김영준과 정현주, 1997), β -엔돌핀과 통증 역치에 미치는 효과(김형남과 박래준, 1997; 조정선 등, 1994), 세균 성장 억제 효과(강은진 등, 1996) 등이 보고되었다. 이상의 보고들을 요약하면 미세전류는 동통완화와 조직 재생 및 상처 및 골절 치유 촉진, 세균성장 억제, 교감신경 완화에 의한 혈류량 개선 등의 효과가 있다.

피로는 정신적 피로와 육체적 피로로 나뉘고 일상적으로 정상인이 경험하는 현상이다. 보통 피로하다고 하는 경우는 영양, 휴식, 수면 등으로 회복이 되나 매일 발생하는 피로가 회복되지 않으면 만성피로가 되고 이어서 과로의 상태가 되고 더 나아가 병적인 상태가 된다(高橋, 1996). 피로란 연속되고 반복되는 정신적 육체적 작업에 수반하여 발생하는 심신기능의 저하상태로 학문적으로 정의하기가 어려운 추상적인 개념이다(박상욱 등, 1993). Simonson(1971)는 피로는 현재 운동수행 능력

의 손상유무에 상관없이 운동 수행 중에 일어나는 수행력의 일시적 상실로 정의하였다. 신체적 피로 중에서 근피로는 같은 근육을 오랫동안 사용하면 근출력이 감소하고, 작업효율도 감소한다. 결국 근력발생능력의 감소 아니면 일정한 근력을 유지할 수 없는 상태로 정의할 수 있다. 또한 근피로는 근력저하가 더해지고 근이완의 연장, 신장성의 감소, 근수축 속도의 감소가 더해지고 말초성의 피로와 중추성의 피로로 나누게 된다(高橋, 1996). 말초성 피로는 신경연접부와 근세포막에서의 흥분과정, 칼슘이 방출되는 활성과정, 필라멘트가 활주하는 수축과정 등 세 가지 과정에서 발생된다(Edwards, 1983). 운동신경에 간접적으로 계속적인 자극을 주었을 때 발현되는 힘이 감소하는 것은 자극의 전달기전, 특히 활성과정에서 보다는 흥분과정에서 신경 기능의 부전이 발생되기 때문이며, 운동신경에 직접적으로 자극을 주게 되면 다시 힘이 증가되어 발현되다가 두 번째로 힘의 감소현상이 나타나는데, 이것은 수축과정에서의 기능부전, 즉 신경요인 보다는 대사요인에 의한 것이라 하였다.

Merton(1954)은 흥분기전과 활성기전의 차이점을 규명하였는데 모지내전근에 간접적인 자극을 주었을 때 흥분기전과 활성기전의 차이점을 규명하였고 모지내전근에 간접적인 자극을 주었을 때 흥분성이 감소하지 않아도 근수축력이 저하된다는 점을 밝혀 말초피로에 대사적요인이 작용한다는 사실을 시사하였다. 따라서 말초피로는 주로 대사적 요인에 의한 것임을 알 수 있다. 이후 Simonson(1971)은 근피로의 원인을 축적론(accumulation hypothesis)과 소모론(exhaustion hypothesis)을 제안하였다.

현대인은 직업에 따라 오랫동안 서서 일을 하는 경우가 많고 특히 노인들에게는 건강관리 치원에서 서서 걷는 운동을 권하고 있다. 따라서 장시간 서있거나 보행을 하였을 때 족부의 피로를 최소화하는 방법을 찾는 것이 당연하다고 할 수 있다.

전기자극자극의 주 효과는 통증관리로 오래 전부터 의학에서 사용해 왔다. 주로 통증 치료는 경피신경전기자극(Transcutaneous electrical nerve stimulation)을 통하여 통증질환에 다양하게 사용되어 왔는데 그 효과는 치료군과 대조군과 비교를 할 때 차이가 있다고 하였다(Jeans 등, 1979; Melzack 등, 1983; Thorsteinsson 등, 1978). 최근에는 전체 전류량을 줄이고 치료 목적을 달성하기 위한 미세전류의 사용이 일반화 되고 있다(Chapman와 Hill, 2002). 미세전류의 적용은 외이 경혈점 자극(고현철 등, 1997), 요추부 적용(McMakin, 2004), 아킬레스 건에 적용(Chapman와 Hill, 2002), 수부경혈점 적용(조정선 등, 1994) 등이 있으나 족부에 적용하여 연구한 것은 없는 실정이며 근피로에 대하여는

박래준(1999)이 경피신경전기자극을 이용하여 연구한 것만이 문헌상에 나타나고 있다.

따라서 본 연구의 목적은 미세전류가 발생하는 신발을 제작하여 50세 이상의 장년층에서 발생한 족부 통증의 완화와 일상생활 중 발생 하는 족부의 피로 예방에 어떠한 효과를 미치는 지 알아보고 향후 건강 신발 개발에 기초자료를 제공하고자한다.

II. 연구 대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 대구 소재 OO병원에서 전문의에 의해 족저근막염 진단을 받은 환자로써 족부 통증이 있는 자를 대상으로 본 연구에 동의하는 50세 이상 남녀 각각 5명씩 모두 10명을 무작위로 선정하였다. 환자의 직업은 남성의 경우 육체노동을 심하게 하지 않는 일반직장인과 여성의 경우 가정주부로 구성되었고, 실험기간은 2006년 1월 3일부터 2월 14일까지 6주간 하였으며 각 환자의 일반적인 특성은 (표 1)과 같다.

표 1. 연구대상자의 일반적인 특성

	평균	±표준편차
성별(명) 남	5	
여	5	
나이(세)	54.0	3.1
신장(cm)	160.7	7.7
체중(kg)	60.6	6.0

2. 연구방법

1) 미세전류 발생 신발의 제작과 전류량

압전소자는 기계적 에너지를 전기적 에너지로 또는 전기적 에너지를 기계적 에너지로 전환할 수 있는 소자로써 결정구조상 대칭을 이루지 못하는 세라믹과 고분자들이 이에 속한다. 가장 효율(전기-기계 변환계수, k)이 좋은 소자는 PZT(PbZrO₃-PbTiO₃)계 세라믹으로 1920년대 이후로 지금까지 널리 사용되고 있다. 이러한 압전체들은 전자기적 영향을 받지 않으며, 구조가 단순하면서 강(rigid)하고, 나노-초(nano-second)대의 동작속도를 가져 그 특성을 이용하여 다양한 분야에 응용되고 있으며, 그 사용처는 날이 갈수록 증가하고 있다.

본 연구에서는 외부적인 요인(수분침투, 오작동 및 고장 등)에 영향을 받지 않으면서도 지속적인 미세전류 발

생이 가능한 압전체 (doped)-PZT의 제작을 위한 것으로써, 우수한 전기-기계 결합계수를 가지며, 신발 착용자의 사용 압력에 대응하여 적정량의 미세전류를 발생시키는 soft-PZT(+3가 및 +5가가 미량 첨가된 PZT)를 세라믹 후막(thick film) 형태로 제조하였다.

기계적 응력을 가했을 때, 압전체에서 발생하는 전기적 에너지의 형태는 매우 높은 순간전압을 보이나, 낮은 전류를 가져 비교적 전력의 크기가 낮아, 필요로 하는 미세전류의 발생을 위해서는 하나의 대형 압전체를 이용할 수 없으며, 여러개의 후막 압전체를 적층형으로 쌓아서 전류의 크기를 증대시킬 필요가 있다. 따라서 높은 효율을 가지기 위해서는 100~200 μ m 정도의 두께를 가지는 후막(thick)의 고 적층화가 필수적이다. 이를 위해서는 효율성이 높은 미세한 분말의 합성과 이러한 분말을 이용한 안정한 슬러리(slurry)의 제조, 원하는 크기를 갖는 성형체로의 가공, 바인더(binder), 제거(burn-out)와 소결(sintering) 등의 여러단계에 걸친 압전세라믹 제조공정 및 은(Ag) 또는 니켈(Ni) 전극부착 등 여러 가지 복잡한 기술 및 과정이 소요된다(한득영, 2000)

압전액츄에이터의 제조공정을 간략히 살펴보면, 아래와 같은 공정을 거친다.

- ① 세라믹파우더 제조 - ② 볼밀링공정 - ③ 테이프캐스팅공정 - ④ 그린테이프커팅 - ⑤ 패턴프린팅 - ⑥ 적층공정 - ⑦ 커팅공정 - ⑧ 바인더 제거 및 신터링 - ⑨ 멀티레이어액츄에이터 제조 - ⑩ 테스트 공정

(1) 이론적인 전류 값

상기와 같은 제조공정을 거친 압전소자의 전기적 특성을 살펴보면,

압전세라믹스의 압전특성 중 압전계수가 있으며, 이는 단위면적당 인가하중에 따른 전하량을 말한다.

이 값을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\text{압전계수 } d_{33} = \frac{Q/A}{F/A} = \frac{Q}{F} \quad (Q = \text{전하량}, A = \text{힘을 받는 면적}, F = \text{힘})$$

그러므로 d_{33} 값은 압전체 가한 힘에 의해 발생하는 전하량이다.

일반적으로 체중 50kg인 사람이 걸거나 뛸 때, 발뒷굽에 가해지는 무게는 1.5배 내지 3배까지 증대하게 된다. 따라서 일반적인 걷는 경우에는 약 75kg의 무게가 가해지고, 이때 압전체에 가해지는 힘은,

$$F = ma = 75\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2 = 750\text{N}$$

$d_{33} = 1300\text{pC/N}$ 인 PZT계 압전세라믹에 750N의 힘을 가할 때 발생하는 전하량은 $1300\text{pC/N} \times 750\text{N} = 9.75 \times 10^{-7}\text{C}$

박래준 외 6인 : 족저근막염 환자의 미세전류발생 신발 착용이 족부 근피로 및 통증완화에 미치는 영향

발 뒷굽이 지면에 닿아서 힘이 가해지는 시간은 보통 0.5초 내지 1초이므로 1초라고 가정하면,

$$I = \frac{dQ}{dT} = 0.975\mu A \text{이고, 0.5초일 경우에는 두 배이므로 } 1.950\mu A \text{이다.}$$

따라서 체중이 60kg인 사람이 (1) 보통 걸음으로 걸을 경우 무게는 약 75kg이고, 시간은 약 1초일 경우 한장의 후막으로 이루어진 압전체에서는 0.975μA의 전류가 발생되고, (2)뛰는 경우 무게는 약 150kg이고, 시간은 약 0.5초정도 일 경우에는 압전체에서는 2.94μA의 전류가 발생되게 된다.

따라서 상기 압전계수값을 가지는 압전세라믹스를 100층 적층할 경우에는 전류값은 100배 증가하므로, 그 값은 걸을때는 97.5μA이고, 뛸 경우에는 294μA가 된다.

위 계산된 전류값에서 전압을 계산하면,
 $V=IR$ 에서 (압전체 자체의 저항은 약 90,000Ω)
 걸을때 $97.5\mu A \times 90,000\Omega = 8.78V$
 뛸때 $294\mu A \times 90,000\Omega = 26.46V$ 가 된다.

상기 계산은 이론적인 값이므로 실제 액추에이터의 제작시에는 100%의 특성을 나타내지는 못하나, 60kg인 사람의 경우에 이론적인 값은,
 전류는 약 90μA ~ 약300μA
 전압은 약 8V ~ 약 26V의 값을 가지게 된다.

실 제작시 압전 액추에이터의 값은 약 80%의 효율을 가지므로 100층으로 적층시 약 70 ~ 260μA의 전류값과 약 7V ~ 22V의 전압값을 가지게 된다.

본 연구에서는 미세전류발생 신발은 (주)지멘스에서 개발한 압전액추에이터를 신발 뒷 굽에 넣어 체중에 의해 압력이 가해서 압전효과(piezoelectric effect)에 의해 발생하는 미세전류를 특별 설계된 깔창의 회로를 통하여 발바닥 전체로 흐르게 하며 발과 깔창간의 전도를 위하여 은사가 혼합된 특수 양말을 제작하여 실험 대상자들에게 지급하였다. 무게에 따라 발생하는 전류량은 그림2와 같으며 전류의 측정은 (그림1)과 같은 회로로 압전액추에이터의 내부저항은 90,239(Ω)이고 액추에이터와 저항은 병렬로 연결되어 있다. 따라서 위 병렬 저항 값을 계산하면 89,431.97(Ω)이고, 이 저항 값과 오실로스코프에 나타난 전압 값으로 전류를 계산하면 (그림 2)와 같은 전류 값이 나오며 75Kg 무게에서 전류량은 60~160μA이다.

이 액추에이터에서 옴의 법칙

$$V=I \times R \text{과 전력 공식 } W=V \times I = V^2/R \text{에서}$$

W는 동일 제품일 경우 일정하기 때문에 따라서, 저항이 감소하면 전압이 감소한다. 한편, 전류특성은 액추에이터의 고유특성이며 저항에 큰 영향을 받지 않는다.

제작된 액추에이터가 부착된 신발 깔창의 모양은 (그림3)과 같다.

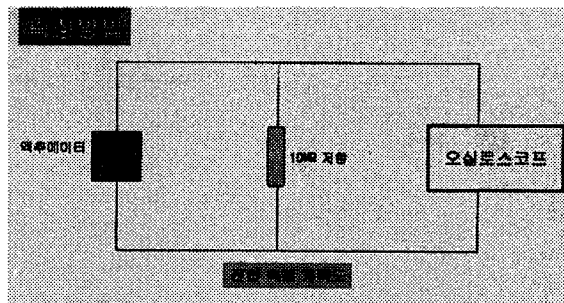


그림1. 전압 측정 계략도

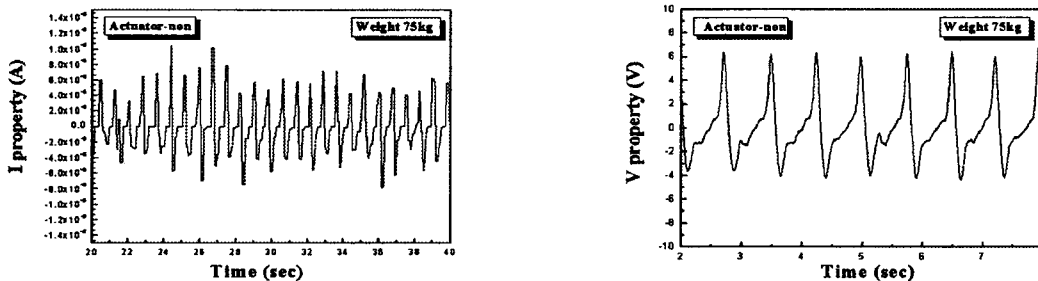


그림2. 75Kg무게에서의 전류 및 전압 값

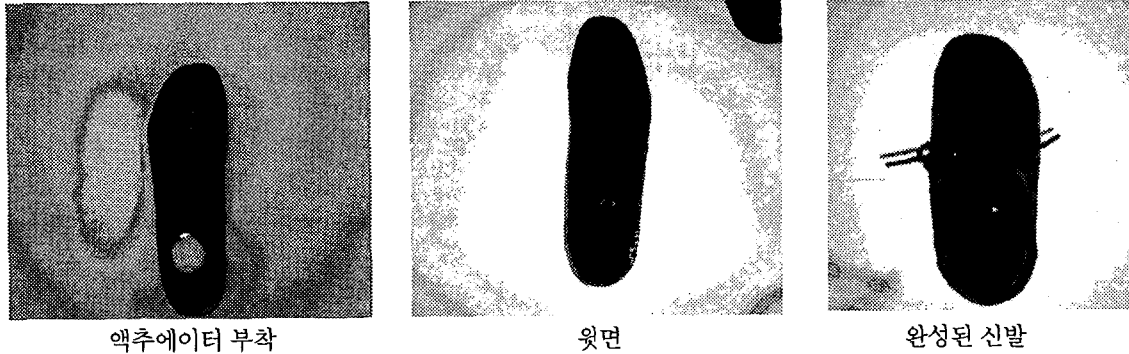


그림3. 완성된 신발 깔창과 실험용 신발

2) 실험방법

연구대상자들은 실험기간동안 매일 4시간 이상 미세 전류 발생신발을 신고 일상생활을 하였다. 신발을 신을 때는 전기전도를 위해 특별히 제작된 은사가 함유된 양말을 착용하였으며, 실험기간 동안 심한 운동은 삼가 하였다. 근 피로도와 통증은 실험 전과 실험 6주 후에 각각 측정하였다. 실험 전 사전 검사는 일반 신발을 신고 트레드밀 위에서 처음 시속 2km로 10분간 보행한 후 속도를 시속 3km로 증가시켜 10분 동안 보행하는 동안 마지막 10초 동안의 중앙주파수 값과 보행 후 VAS를 측정하였으며, 실험 6주 후 사후 검사는 미세전류 발생신발을 신고 사전 검사와 같은 방법으로 측정하였다.

(1) 근피로 측정 및 분석

근전도 수집을 위해 표면 근전도기(MP 150, Biopac, USA)를 사용하였다. 근전도 신호는 실험 대상자가 트레드밀 위에서 처음 시속 2km로 10분간 보행한 후 속도를 시속 3km로 증가시켜 10분 동안 보행하는 동안 MP150 remote monitoring system(TEL100)을 이용하여 수집하였다. 근피로 분석을 위해 우측 전경골근(Tibialis anterior, TA)과 가자미근(Soleus, S)의 활동을 측정하였으며 활성전극(Ag-Ag/Cl ; Biopac, diameter 2cm, inter-electrode distance 2cm)은 근섬유 방향과 평행하게 근육의 중간 부위에 배치하였다(Tirosh와 Sparrow, 2005). 전경골근은 하퇴근위 1/2 지점에서 경골능 바로 외측에 부착하였으며, 가자미근의 원위 1/2 지점에 부착하였다. 피부저항을 최소화하기 위해 전극 부착부위를 면도 한 후 알콜로 닦고 완전히 마른 후에 전극을 부착하였다.

근전도 신호는 sampling rate 1000Hz에서 수집하였으며, 20-500Hz에서 band pass filtering하였다(Ikegawa 등, 2000). 근피로 분석은 시속 3km로 보행 중 마지막 10

초 동안의 신호를 수집하여 컴퓨터에 저장한 후 MP150 Acqknowledge Software(Biopac, USA)를 이용하여 FFT(fast fourier transformation)처리 후 얻어진 중앙주파수(MDF)를 이용하였다.

(2) 통증 측정 및 분석

통증 정도를 측정하기 위해서 시각적 상사척도(Visual Analogue Scale, VAS)를 이용하였다. VAS는 환자가 현재 느끼는 통증의 강도를 평가하는데 있어서 가장 간단하고 유용한 도구이다. 통증 정도를 1(통증이 없음)-10(가장 심한 통증) 단계까지 구분하여 나타내는 통증 평가표로 주관적인 통증을 계량화 하여 객관화 시킨 임상적인 평가법이다(O' Sullivan과 Schmitz, 2001).

사전 검사는 미세전류 발생 신발 착용 전에 실시하였으며, 사후검사는 미세전류 발생 신발 착용 6주후에 측정하였다.

(3) 통계처리

미세전류 발생신발이 족저근막염 환자의 근피로와 족부 통증에 미치는 효과를 알아보기 위하여 SPSS Ver. 12.0 for Window를 사용하였다. 실험 전과 후 검사결과를 각각 평균과 표준편차를 구하고 비모수방법인 Wilcoxon's matched pairs test를 이용하여 실험 전·후 값을 비교하였다. 유의도 검정을 위한 α 는 0.05로 하였다.

III. 결과

미세전류 발생신발의 적용 전과 6주 경과 후 VAS와 전경골근과 가자미근의 중앙주파수(MDF) 값의 평균과 표준편차는 다음과 같다(표 2).

박래준 외 6인 : 족저근막염 환자의 미세전류발생 신발 착용이 족부 근피로 및 통증완화에 미치는 영향

표 2. 실험 전 · 후의 통증(VAS), 중앙주파수(MDF)값 변화

			(평균±표준편차Hz)	
			실험 전	실험 후
VAS			4.6±2.2	2.0±2.0
중앙주파수 (MDF)	전경골근(TA)	보행초기	28.88±1.22	26.84±2.08
		보행후기	25.9±1.48	25.9±2.15
	가자미근(S)	보행초기	25.53± 3.89	28.52±2.52
		보행후기	23.58±3.35	27.04±1.72

1. 통증비교

미세전류 발생신발 착용 6주 후 통증은 2.0으로 착용 전 4.6에 비해 유의하게 감소하였다(p < 0.05)(표 3, 그림 4).

표 3. 실험 전 · 후의 통증변화 비교

	평균	±표준편차	p
실험 전	4.6	2.2	
실험 후	2.0	2.0	.006

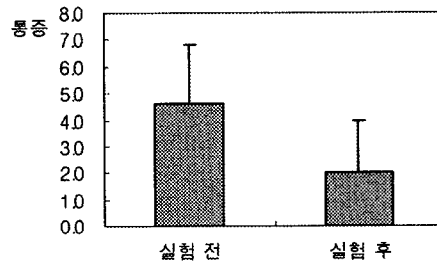


그림 4. 실험 전 · 후의 통증 변화

2. 근피로도 분석

미세전류 발생신발 착용 후 근피로도의 변화를 분석하기 위해 실험 전과 실험 후에 보행 후기의 중앙주파수에 서 보행 초기의 중앙주파수 값을 뺀 delta MDF를 각각 구하여 실험 전과 실험 후의 근피로도의 변화가 통계적으로 차이가 있는지 알아보았다. 미세전류 발생신발 착용 6주 후 전경골근의 delta MDF 평균값은 -0.96±

0.79Hz로 착용 전 delta MDF 평균값인 -2.98±1.65Hz에 비해 중앙주파수의 저주파대역으로의 이동이 통계적으로 유의하게 감소되었다(p < .05). 실험 후 측정된 가자미근의 delta MDF 평균값은 -1.48±1.73Hz로 착용 전 delta MDF 평균값인 -1.96±3.84Hz에 비해 미세전류 발생 신발 착용 후 중앙 주파수의 감소폭은 약간 감소하였으나 통계적으로는 유의하지 않았다(p > .05)(표 4, 그림 5).

표 4. 실험 전 · 후 delta MDF 값의 변화

		평균	±표준편차	p
전경골근	실험 전	-2.98	1.65	
	실험 후	-0.96	0.79	.013
가자미근	실험 전	-1.96	3.84	
	실험 후	-1.48	1.73	.333

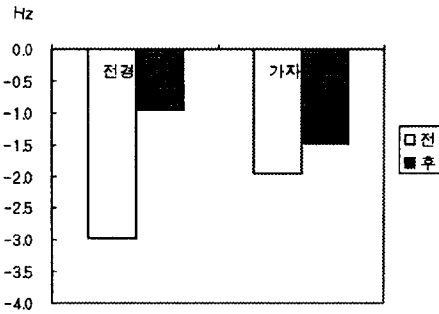


그림 5. 실험 전 · 후의 delta MDF 평균값 변화

IV. 고찰

족저근막염은 족저근막의 국소염증으로 특징 지워지는 과사용 형태로 정의되는 족부에서 가장 흔하게 나타나는 연부조직 병변 중의 하나이다. 환자들은 일반적으로 일상생활을 하는 동안 체중이 부하되는 발뒤꿈치 부분의 통증과 그와 관련된 움직임의 제한을 나타낸다 (Ryan, 2002). 족저근막염의 치료는 일반적으로 비스테로이드성 항염증제와 코티손 주사 등과 같은 약물치료와 신장운동, 마사지, 초음파, 냉치료, 교대육과 발뒤꿈치 패드 삽입 등의 물리치료 방법들이 사용되고 있다.

마이크로 암페어(μA) 단위의 미세전류의 통증치료를 위한 임상적용은 만성요통 치료 시 β -endorphin 분비촉진, 근막동통증후군 치료, 지연성 근육통 완화와 스포츠 손상으로 인한 상처치유 촉진을 보고하는 등 많은 선행연구가 이루어져 왔다 (Gabis 등, 2003; Lambert 등, 2002). 인체 내에서 미세전류의 작용기전은 정확하게 밝혀지지 않았으나 세포간 Ca의 항상성의 조절기전과 밀접하게 관련되어 있다. 미세전류의 적용은 이와 같은 세포 수준의 전기에너지를 공급함으로써 통증완화 및 상처치유 효과를 얻을 수 있다 (Lambert 등, 2002).

본 연구는 족저근막염에 의해 족부에 만성 통증을 나타내는 50세 이상의 환자를 대상으로 미세전류 발생신발을 6주간 매일 4시간 이상을 착용하게 하였다. 신발 착용 6주 후 통증 정도는 착용 전에 비해 4.6에서 2.0으로 현저하게 감소하였다. 이 결과는 Smith(2002)가 보고한 족부의 동맥과 정맥 부근에 미세전류 적용 시 생리적 스트레스와 통증이 감소되었다는 연구 결과와 일치한다.

근피로는 근육의 반복적인 활동으로 인해 요구되는 힘으로 더 이상의 운동을 유지할 수 없거나 근육이 발휘할 수 있는 최대근력의 감소로 정의되는 복합적인 신경근기능의 저하현상이다 (Millet과 Lepers, 2004). 근피로 분석은 근전도를 사용하여 근전도신호를 주파수 평면으로 변환하는 주파수 스펙트럼 분석 (frequency spectrum analysis)을 실시 후 얻어진 중앙주파수 변화를 이용한다. 중앙주파수는 근육의 활동전위 전도속도와 II형 근섬유의 동원비율과 비례한다 (Mannion 등, 1998). 근피로가 진행됨에 따라 근육 힘의 감소와 함께 주파수 스펙트럼의 중앙주파수가 고주파 대역에서 저주파 대역으로 이동한다. 이것은 근피로가 근섬유 전도속도를 감소시켜 II형섬유의 동원이 감소되고 I형섬유의 동원이 증가되어 결과적으로 중앙주파수가 저주파 대역으로 이동하기 때문이다 (Bilodeau 등, 2003; Braakhekke 등, 1989). 근섬유의 구성비율과 크기는 근전도신호의 주파수에 영향을 미친다. 일반적으로 높은 주파수는 II형 섬유의 구성비율이 높거나 상대적으로 더 많이 분포한 부분에서 나타난다 (Gardle 등, 2000; Gerdle 등, 1997). 또한 힘 또는 피로의 증가에 따른 중앙주파수의 변화는 근섬유의 구성비율과 크기에 의해 영향을 받는다. 예를 들면 피로가 유발되는 동안에 II형섬유의 비율이 더 높거나 더 많이 분포된 부위에서 중앙주파수의 감소가 더 크게 나타난다. 이것은 I형섬유보다 직경이 더 크거나 더 높은 전도속도를 가지고 있는 II형섬유의 점진적인 동원으로 설명할 수 있다 (Gerdle 등, 1991; Sadoyama 등, 1988).

본 연구의 사전검사는 미세전류 착용 전 일반신발을 신고 트레드밀 위에서 처음 시속 2km로 10분간 걷다가 연구 대상자가 트레드밀 위에서의 보행이 익숙해짐에 따라 속도를 시속 3km로 올려 10분간 보행 시 근전도신호를 수집하여 시속 2km로 보행 초기 10초간의 중앙주파수 값과 시속 3km로 보행 후기 10초간의 중앙주파수 값을 구하였다. 미세전류 발생신발 착용 6주 후 시행한 사후검사는 미세전류 발생신발을 신고 사전검사와 동일한 방법으로 중앙주파수 값을 구하였다. 근피로도 분석은 사전검사 시 얻어진 보행초기와 후기 중앙주파수 값의 차이 (delta MDF)와 사후검사 시 얻어진 보행초기와 후

본 연구의 사전검사는 미세전류 착용 전 일반신발을 신고 트레드밀 위에서 처음 시속 2km로 10분간 걷다가 연구 대상자가 트레드밀 위에서의 보행이 익숙해짐에 따라 속도를 시속 3km로 올려 10분간 보행 시 근전도신호를 수집하여 시속 2km로 보행 초기 10초간의 중앙주파수 값과 시속 3km로 보행 후기 10초간의 중앙주파수 값을 구하였다. 미세전류 발생신발 착용 6주 후 시행한 사후검사는 미세전류 발생신발을 신고 사전검사와 동일한 방법으로 중앙주파수 값을 구하였다. 근피로도 분석은 사전검사 시 얻어진 보행초기와 후기 중앙주파수 값의 차이 (delta MDF)와 사후검사 시 얻어진 보행초기와 후

기 중앙주파수 값의 차이(delta MDF)를 비교하였다. 전 경골근의 경우 사후 검사에서 얻어진 delta MDF값이 -2.98Hz로 사전 검사에서 얻어진 delta MDF값인 -0.96 Hz에 비해 통계적으로 유의하게 감소하였다. 가자미근의 경우는 사후 검사에서 얻어진 delta MDF값이 -1.96Hz로 사전 검사에서 얻어진 delta MDF값인 -1.48Hz에 비해 다소 감소하였으나 통계적으로는 유의한 차이를 나타 내지 않았다.

본 연구의 결과 미세전류 발생 신발이 통증의 감소에 는 탁월한 효과를 나타내었다. 실험 기간 중 4시간 이상 착용하지 못한 연구 대상자는 데이터 분석과정에서 배제 하였다. 그리고등산 등의 심한 운동을 하여 근 피로도에 영향을 미치는 경우도 배제하였다. 근피로도에 있어서 전경골근의 피로도는 통계적으로 유의하게 감소되었다. 반면에 가자미근의 피로도는 일반 신발을 착용했을 때보 다 다소 감소되기는 하였으나 통계적으로 유의하지는 않 았다.

본 연구는 연구 대상자의 수가 한정되어 있어 일반화 하여 해석하기에는 제한점을 갖는다.

또한 미세전류 발생 신발의 착용전과 후에 각각 통증 척도와 근피로도 만을 분석하였는데 보다 광범위한 적용 이 이루어질 수 있도록 향후 연구 대상자를 다양화하여 혈류량 변화와 세균 성장 억제 등 여러 가지 측면에서 깊 이 있는 보완연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 미세전류 발생 신발 착용이 족부 통증과 근 피로 완화에 미치는 영향을 알아보기 위해서 대구 시내 에 소재한 OO 신경외과에서 족저근막염으로 진단받은 환자들 가운데 50세 이상을 대상으로 남자 5명과 여자 5명을 무작위로 선정하였다. 연구대상자들은 6주 동안 하루 4시간 이상 미세전류 발생 신발과 전기 전도를 위 해 특별히 제작된 양말을 착용하고 일상 생활을 하였다. 미세전류 발생 신발 착용전과 착용 6주 후에 각각 사전 검사와 사후 검사를 실시하였다. 표면전극 근전도 (MP150, USA)를 이용하여 근전도신호를 수집한 다음 FFT(fast fourier transformation)처리 후 얻어진 중앙 주파수(MDF)를 이용하여 근피로도 변화를 비교하였으 며, 통증의 변화는 VAS를 이용하였다. 분석 결과는 다 음과 같다.

1. 미세전류 발생 신발 착용 6주후의 통증정도는 착용 전에 비해 유의한 감소를 나타내었다 ($p < .05$).
2. 미세전류 발생 신발 착용 6주후의 전경골근의 근피

로도는 착용 전에 비해 유의한 감소를 나타내었다 ($p < .05$).

3. 미세전류 발생 신발 착용 6주후의 가자미근의 근피 로도는 착용 전에 비해 다소 감소하였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p > .05$).

이상의 결과를 종합해 볼 때 미세전류 발생 신발이 만 상 족부 통증과 일상생활에서 나타나는 근피로 완화에 효과적임을 확인할 수 있었다. 또한 미세전류는 신체 내 에서 발생하는 생리적 전류 범이기 때문에 일반적으로 어떠한 유해 감각이나 신경근 효과를 가져오지 않는 부 작용이 거의 없는 안전한 자극법이다.

참고문헌

강은진, 노정석, 이재승 등. 고전압 백동전류 자극과 미세 전류 신경근 자극의 세균성장 억제효과 비교. 한국 전문물리치료학회지. 1996;3(1):12-23

고현철, 조원호, 한승수. 외이경혈 미세전류신경근 자극 과 체성경혈 미세전류신경근 자극이 압통역치에 미 치는 효과. 한국전문물리치료학회지. 1997; 4(2):36-50.

권원안, 박래준, 박윤기 등. 맥동전자장에너지의 미세전 류가 가토의 상처치유에 미치는 영향. 대한물리치료 학회지. 2000;12(3)319-29.

김영준, 정현주. 3급 치근분지부 팔결손에서 미세전류자 극이 치주조직의 재생에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. 대한치주학회지. 1997;27(4):845-66.

김형남, 박래준. 경피신경자극과 미세전류신경근 자극이 β -endorphin과 동통역치에 미치는 영향. 대한물리 치료학회지. 1997;9(1):103-115.

박래준. 경피신경전기자극과 미세전류자극이 정상인의 교감신경 긴장도에 미치는 영향. 대한물리치료학회 지. 1997;9(1):51-57.

박래준. 전기자극이 흰쥐의 골격근형태에 미치는 영향. 호성여자대학교 대학원, 박사학위 논문. 1983.

박상옥, 박래준, 양재근 등. 운동생리학. 정담. 1993: 193-221.

정영중, 고수정, 유해영 등. 지연성 근육통에 대한 경피신 경 전기자극과 미세전류 신경근 자극의 효과 비교. 한국전문물리치료학회지. 2000;7(2):76-87.

조정선, 전제균, 박래준. 미세전류가 수부 체성경혈점의 실험적 동통 역치에 미치는 영향. 대한물리치료학회 지. 1994;6(1):85-93.

한득영. 압전세라믹 센서 및 액츄에이트. 세라미스트

- 2000;3(2):42-48
- 高橋光彦. 근피로. 일본물리치료잡지. 1996;30(12):940-945.
- Becker RO. The bioelectric factors in amphibian-limb regeneration. *J Bone Joint Surg.* 1962;62:1169-1176.
- Bilodeau M, Schindler-Ivens S, Williams DM et al. EMG frequency content changes with increasing force and during fatigue in the quadriceps femoris muscle of men and women. *J Electromyogr Kinesiol.* 2003;13(1):83-92.
- Braakhekke JP, Stegeman DF, Joosten EM. Increase in median power frequency of the myoelectric signal in pathological fatigue. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1989;73(2):151-6.
- Chapman D, Hill D. Novel microcurrent is more effective than conventional therapy for chronic achilles tendinopathy. *Physiotherapy.* 2002;88:471-480.
- Cheng N, Van Hoof H, Bockx E et al. The effects of electric currents on ATP generation, protein synthesis, and membrane transport of rat skin. *Clin Orthop Relat Res.* 1982;171:264-72.
- Edwards RHT. Biochemical basis of fatigue. In KnuttgenHG(ed). *Biochemistry of Exercise.* Champaign IL, Human Kinetics. 1983:3-28.
- Gabis L, Shklar B, Geva D. Immediate influence of transcranial electrostimulation on pain and beta-endorphin blood levels: an active placebo-controlled study. *Am J Phys Med Rehabil.* 2003;82(2):81-5.
- Gerdle B, Henriksson-Larsen K, Lorentzon R et al. Dependence of the mean power frequency of the electromyogram on muscle force and fibre type. *Acta Physiol Scand.* 1991;142(4):457-65.
- Gerdle B, Karlsson S, Crenshaw AG et al. The relationships between EMG and muscle morphology throughout sustained static knee extension at two submaximal force levels. *Acta Physiol Scand.* 1997;160(4):341-51.
- Gerdle B, Larsson B, Karlsson S. Criterion validation of surface EMG variables as fatigue indicators using peak torque. *J Electromyogr Kinesiol.* 2000;10(4):225-32.
- Ikegawa S, Shinohara M, Fukunaga T et al. Nonlinear time-course of lumbar muscle fatigue using recurrence quantifications. *Biol Cybern.* 2000;82(5):373-82.
- Illingworth CM, Barker AT. Measurement of electrical currents emerging during the regeneration of amputated finger tips in children. *Clin Phys Physiol measurement.* 1980;1:87-89.
- Jeans ME. Relief of chronic pain by brief, intense transcutaneous electrical stimulation : A double-blind study. In: Bonica JJ, et al(eds), *Advances in Pain Research and Therapy.* New York, NY, Raven Press. 1979;3:601-606.
- Lambert MI, Marcus P, Burgess T et al. Electro-membrane microcurrent therapy reduces signs and symptoms of muscle damage. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(4):602-7.
- Lennox AJ, Shafer JP, Hatcher M et al. Pilot study of impedance-controlled microcurrent therapy for managing radiation-induced fibrosis in head-and-neck cancer patients. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2002;54(1):23-34.
- Mannion AF, Dumas GA, Stevenson JM et al. The influence of muscle fiber size and type distribution on electromyographic measures of back muscle fatigability. *Spine.* 1998;23(5):576-84.
- McMakin CR. Microcurrent therapy: a novel treatment method for chronic low back myofascial pain. *Journal of Bodywork and Movement Therapies.* 2004;8(2):143-153.
- Melzack R, Vetere P, Finch L. Transcutaneous electrical nerve stimulation for low back pain. A comparison of TENS and massage for pain and range of motion. *Phys Ther.* 1983;63(4):489-93.
- Merton PA. Voluntary strength and fatigue. *J Physiol.* 1954;123(3):553-64.
- Millet GY, Lepers R. Alterations of Neuromuscular Function After Prolonged Running. Cycling and skiing Exercises. *Sports Med.* 2004;34(2):105-16.
- O'Sullivan SB, Schmitz TJ. *Physical Rehabilitation: Assessment and Treatment,* 4th, Philadelphia, F. A. Davis Company, 2001:101-109.
- Ryan J. How do you manage plantar fasciitis? Evidence-based sports medicine. London, BMJ Books. 2002:542-562
- Sadoyama T, Masuda T, Miyata H et al. Fiber

박래준 외 6인 : 족저근막염 환자의 미세전류발생 신발 착용이 족부 근피로 및 통증완화에 미치는 영향

- conduction velocity and fiber composition in human vastus lateralis. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1988;57(6):767-771.
- Simonson E. *Physiology of Work Capacity and fatiguen.* Springfield. IL, Charles C. Thomas. 1971.
- Smith RB. *Microcurrent therapies. Emerging theories of physiological information processing.* Neuro Rehabilitation. 2002;17(1):3-7.
- Thorsteinsson G, Stonnington HH, Stillwell GK et al. The placebo effect of transcutaneous electrical stimulation. *Pain.* 1978;5(1):31-41.
- Tirosh O, Sparrow WA. Age and walking speed effects on muscle recruitment in gait termination. *Gait Posture.* 2005;21 (3):279-88.