

## 미세전류 적용이 편평족을 가진 사람들의 보행근육 피로도에 미치는 영향

이대환 · 손호희 · 박수진 · 김진상 · 김 경

대구대학교 재활과학대학 물리치료학과

### The Effect of Microcurrent Application on Muscle Fatigue of Pes Planus during Gait

Dae-Hwan Lee, P.T. · Ho-Hee Son, P.T., M.S.

Soo-Jin Park, P.T., M.S. · Jin-Sang Kim, D.V.M. Ph.D. · Kyoung Kim, PT., PhD

*Major in Physical Therapy Dept. of Rehabilitation Science, Graduate School, Daegu University*

#### ABSTRACT

**Purpose:** The purpose of this study was to investigate the effect of microcurrent on fatigue of muscles in people who were flat-footed during gait. **Methods:** 10 flat-footed university students volunteered to participate in this study. 10 flat-footed subjects were divided into 2 groups, one group was experimental group of 5 subjects (This group put on microcurrent induction shoes but the subjects were not able to feel the current.) and the other group was the control group of 5 subjects (This group put on the general shoes which were similar in shape but microcurrent was not induced.) to perform double blind test and random sampling. Their gait muscle fatigue of 6 regions (vastus medialis, gastrocnemius, tibialis anterior, biceps femoris, erector spinae, and rectus abdominis muscle.) was measured by EMG MP150, Delsys Inc Boston, USA during walking and then they carried out the Harvard step with a platform (It was a arbitrarily made wooden platform of 100cm long, 50cm wide, 60cm high. They carried out climbing it for one second and descending it for one second by using the Metronome program, total 5minutes) for 5minutes. Right after that, the subjects walked on a treadmill at a speed of 4km/h for 10minutes and then their gait muscle fatigue of 6regions was assessed while they were walking on the ground as equally as before exercise. **Results:** The experimental group has resulted in lower average differences in gait muscle fatigue before and after exercise than those of the control group average 12.24Hz(P=0.009) at vastus medialis, average 8.52Hz(P=0.016) at gastrocnemius, average 9.16Hz(P=0.009) at tibialis anterior, average 8.66Hz(P=0.047) at biceps femoris, average 7.53Hz(P=0.016) at erector spinae, and average 7.80Hz(P=0.047)

at rectus abdominis. All of the assessments of muscles have shown significant difference statistically.

**Conclusions:** This result has shown that the use of micro current could decrease gait muscle fatigue of flat-footed people. It is recommended to use a microcurrent to reduce their gait muscle fatigue.

**Key words :** Pes planus, flat foot, microcurrent, EMG, muscle fatigue

## I. 서론

인체는 총체적인 모양을 유지하기위해 척주를 중심으로 대칭적으로 배열되어 있으며 이로 인해 인체의 관절 중 하나라도 이상이 생기게 되면 다른 관절의 활동에 영향을 주게 된다(조비룡 등, 2005). 이때 발의 배열상태는 자세유지의 기본바탕이 된다. 발 뼈의 각 부위의 배열이 정확하지 않으면 발이 틀어지게 되고, 다리와 골반의 불균형이 일어나면서 결과적으로 체중 분산의 비정상과 보행 시에 발과 발목에 많은 피로와 통증이 유발 되는 것이다(배성수 등, 2000).

정상적인 발은 거골하 축에 의해서 6도의 자유도, 3면의 움직임, 회내와 회외가 발생한다(Taylor et al, 2001). 정상보행에서 발의 회내는 초기 입각기에 즉시 나타나고 체중 부하기에서 발의 유연성을 허용하며 충격을 흡수하고 지면에 발이 잘 접촉하도록 한다(Perry, 1992). 또한 내측종족궁도 역시 충격흡수와 신체의 체중을 분산시키는 역할을 한다(Donatelli, 1996). 그러나 인간이 보행을 하게 됨에 따라 과도한 스트레스와 부하가 발에 축적이 되고(배성수 등, 2000), 문명의 발달에 의한 평평한 지면은 오히려 정상적인 발에 부담을 주는 요인으로 작용하게 되며 발의 손상의 원인이 될 수 있다(Magee, 2008). 이때 거골하 관절과 내측종족궁의 비정상적인 기능에 의해 발의 정상적인 역학이 손상되게 되면 과도한 회내 즉, 편평족(flatfoot)이 발생한다(Khamis& Yizhar, 2007).

편평족(flatfoot)이란 근본적으로 종족궁(longitudinal arch)이 침강 또는 완전히 소실된 변형을 말한다. 즉, 발의 내측종족궁이 이완되어 족저부가 편평하게 되는 변형을 일컫는다(정종구 등, 1978; 박래준 등, 1988). 인간의 대부분은 편평족으로 태어나지만 걷기 시작하

면서 발 근육 인대의 강화에 따라 16세 때 발의 아치(Foot arch)를 형성하게 된다. 일부사람은 평생 편평족으로 살게 되는데 그로인해 걸음걸이가 이상해지고 발을 지탱하는 축에 심한 통증과 보행시의 심한 근 피로를 느끼게 된다. 이런 증상으로 보행시마다 체중부하와 발디딤 운동으로 발가락 끝이 28%정도 늘어나며, 발 너비가 2~10% 증가한다(한상덕, 1995). 또한 궁이 낮아져 저측인대와 족저근막을 더욱더 강하게 신장시키는 스트레스가 지속되면 미세손상주기, 통증, 염증이 일어나게 된다. 그로인해 발이 견디는 하중과 압력이 늘어나 족부근육의 근피로는 정상 족부근육보다 빨리 오게 된다(배성수 등, 2000). 편평족의 경우 입각기 동안 회내상태가 지연되어(Sgarlato, 1975) 내재근의 피로를 유발시키기 때문에 장거리 보행이나 운동 후의 통증이 유발된다고 할 수 있다.

이러한 족부질환을 위한 치료로 여러 가지 방법들이 사용되고 있는데, 소아에서 발 보조기를 이용한 재활치료(김현정, 1988), 보조기착용으로 종골각, Q-angle, 대퇴각의 변화를 유도한 통증감소치료(윤중문, 2007), 증상이 심한 족근관 증후군에 대하여 수술적 감압술을 시행하여 통증을 감소시키는 치료법(양대석, 2009)등이 있으며 물리치료를 통한 보존적 치료로는 미세전류를 통한 족저근막염 환자의 근피로도 감소(조용호, 2006)등이 사용되어지고 있다.

전기치료는 기초과학과 임상의학, 전자공학의 발전으로 탈신경근의 재교육, 관절운동 범위 증진, 수의운동 조절의 촉진, 위축 및 약화된 근육의 근력 회복 및 강화, 근 경축 및 경련성 완화, 구축 교정, 골절 치유, 상처 치유 촉진, 통증 완화 등의 목적으로 폭 넓게 이용되고, 횡격막 신경 전기 자극, 방광 전기 자극, 신경 재생 등의 여러 가지 목적으로 폭 넓게 사용되어 왔

다. 종래의 전기치료는 직류전류와 저전압 저주파전류를 이용하여 주로 탈신경근의 자극치료에 이용되었으나 오늘날은 다양한 형태의 전류를 이용하여 치료에 이용하고 있다(이재형, 1995; 정진우, 1991).

전기치료의 목적들 중 욕창이나 궤양 등의 상처 치유에 사용되는 것이 고전압 맥동전류 자극과 미세전류 신경근 자극이다(권원안 등, 2000). 지금까지는 밀리암페어(mA) 단위자극이 주어지던 저주파 치료기, 경피신경자극 치료기를 많이 사용했었지만(박래준, 1997; 김형남과 박래준, 1997; 정영종 외, 2000) 최근에는 전압을 높여서 전류량을 줄인 마이크로암페어( $\mu$ A) 단위의 미세전류 치료가 사용되고 있다.

미세전류 자극치료는 마이크로암페어( $\mu$ A)단위의 전류를 사용하여 치료에 이용하는 것으로서 경피신경 자극치료기에서 사용하는 밀리암페어와는 생체전기에 대한 의미 측면에서 매우 다를 수 있고 상처치료에 대한 미세전류의 높은 효과가 증명되었다(Carley and Wanaapel, 1985). 경피신경 전기 자극이나 감응전류 같은 다른 전기 자극 치료 방법보다 전류강도가 극히 적은 미세전류는 연부조직(soft tissue) 치유와 골절 불유합(nonunion)의 치료와 창상치유에서 효과적으로 사용되어 오고 있다(Lambert et al., 2002; Cho 2006; Lee et al., 2010). 미세전류의 낮은 전기적 자극은 혈관신생 치료를 위한 유망한 접근방법이며(Kanno et al., 1999; Vite et al., 1999), 전기장은 성장인자의 분비를 촉진시킨다고 하였다(Zhao et al., 2004). 또한 미세전류는 피부의 섬유아세포와 U937 cells을 염증과 조직재생의 중요한 조절인자인 성장인자- $\beta$ 1으로의 전환을 자극할 뿐 아니라(Todd et al., 2001) 초저미세전류(ultra-low mic rocurrent)는 당뇨, 고혈압 그리고 창상치유에 뚜렷한 치료적 효과가 있다고 보고되고 있다(Lee. et al., 2009).

이 밖에 미세전류를 이용한 치료에 관련된 선행 논문들을 살펴보면 족저근막염환자를 대상으로한 미세전류적용(조용호, 2006), 미세전류를 이용한 창상치유(오혜진, 2008)나 요통치료(오현주, 2007), 골절 후 골유합에 미치는 영향(조미숙, 2007)등에 관한 연구가 진행되어 왔다. 이처럼 최근 생체전기와 비슷한 단위

의 미세전류에 관한 연구들이 활발히 진행되고 있으나 이를 이용한 근육의 피로도에 관한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 미세전류와 편평족에 초점을 맞춰 미세전류가 편평족을 가진 사람의 보행근육 피로도에 영향을 줄 것이라는 가설을 세우고 실험을 통해 미세전류가 보행근육의 피로도에 미치는 영향을 밝히고자 한다.

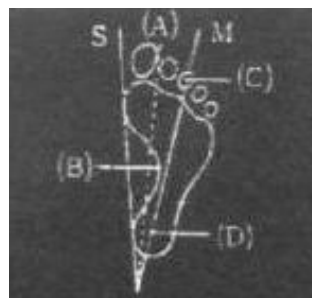
## II. 연구방법

### 1. 연구대상자

본 연구의 대상자들은 대구대학교 학생 중 신경학적 병력이 없고, 근 골격계의 질환병력이 없는 학생으로 이학적 검사를 통해 편평족으로 확인, 분류된 성인 10명을 대상으로 선정하였다. 모든 대상자는 실험에 참가하기 전 연구목적과 방법에 대해 충분한 설명을 듣고 이에 자발적 동의를 한 후 연구에 참가하였다.

연구대상자의 조건은 다음과 같다.

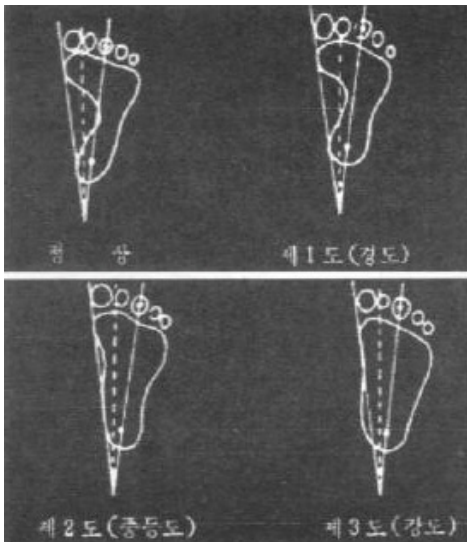
- 1) 신경학적 병력이 없는 사람
- 2) 보행과 계단 오르기에 영향을 받는 외과적 수술을 시행하지 않은 사람
- 3) 신체에 선천적인 기형이 없는 사람
- 4) 독립적인 보행과 운동이 가능한 사람
- 5) RS scan system(RS scan Ltd., German)을 이용해 편평족임이 확인된 사람 (본 연구의 대상자들은 경도이상의 판정을 받은 사람들을 대상으로 선정하였다.)



S : 스타크선  
M : 마이아선  
(A) : 각의 이등분선  
(B) : 내측연  
(C) : 제 3지의 중심  
(D) : 발꿈치의 중심

정상 분류는 다음과 같다.

- 정상 : 족저 내측연이 M선의 외측을 지나갈 때를 말한다.
- 경도 : 족저 내측연이 (A)선과 M선의 사이를 지나갈 때를 말한다.
- 중등도 : 족저 내측연이 (A)선과 S선의 사이를 지나갈 때를 말한다.
- 강도 : 족저 내측연이 S선과 거의 일치되거나 S선 내측으로 벗어날 때를 말한다.



## 2. 실험 방법 및 절차

### 1) 실험 방법

실험실은 검사자나 대상자 모두 불편함이 없도록 온도와 주위환경을 조성하고 실험절차와 방법에 대해 충분한 설명을 한 뒤 동의를 얻고 시작하였다.

먼저 대상자의 과거력을 청취하고 대상자의 일반적인 신체특성을 알아보기 위해 신체계측을 실시하였다. 실험절차의 이해를 편하게 하기위해 연구 보조자가 먼저 시범을 보인 뒤 시행하였다.

모든 대상자는 실험을 자연스럽게 하기위해 5분정도 평소와 같이 휴식을 가지고 실험에 들어갔다. 또한 자신이 이 실험에 실험군인지 대조군인지를 알지 못하게 하여 연구결과에 영향이 가지 않도록 하였다. 대상자중 5명은 미세전류가 흐르는 신발을 신고 실험에

참가하였고, 5명은 미세전류가 흐르지 않는 신발을 신게 하였다. 이 신발은 겉보기의 차이가 없으며 신었을 때 미세전류를 느끼지는 못한다.

대상자의 보행근육의 피로도를 측정하기위해 근전도 패드를 부착하였다. 부착부위는 복직근, 척추기립근, 내측광근, 전경골근, 비복근, 대퇴이두근으로 모두 6개이다.

### (1) 하버드 스텝 운동

운동은 짧은시간 보행근육의 피로를 유발할 수 있도록 신발을 신고 하버드 스텝을 시행하였다.

하버드 스텝 테스트는 일정한 높이의 step 대(약 50.8 cm)를 이용하여 측정하는 항목인데 일정한 운동량을 부하한 뒤 맥박 또는 혈압을 측정하여 심폐기능의 좋고 나쁨을 측정하는 종목으로 사용된다.

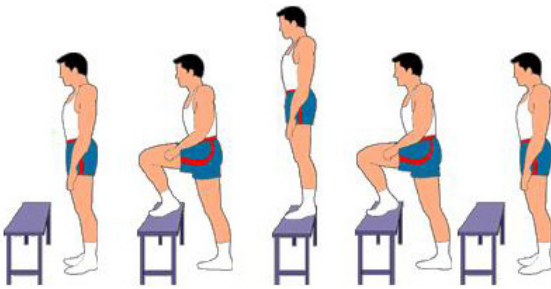
하버드 스텝 대는 성별, 연령 등에 따라 높낮이가 다르지만 50.8cm(20inch)를 원칙으로 한다.

측정방법은 다음과 같다.

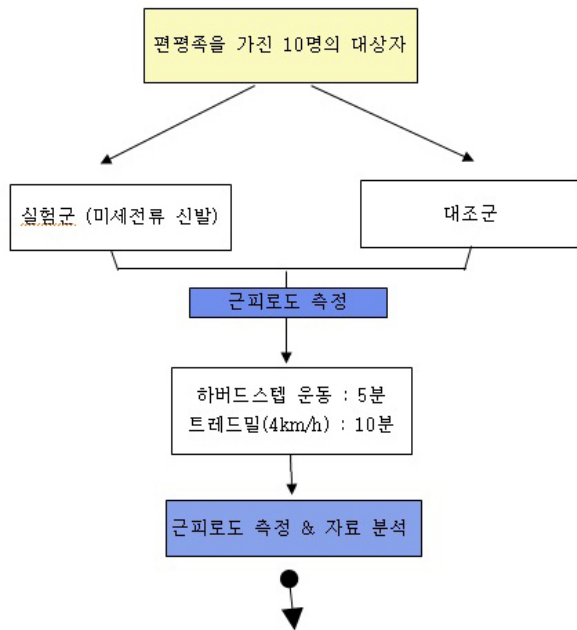
1. 준비“구멍”을 하면 차렷 자세로 대 앞에 선다.
2. “시작”구멍과 함께 오른쪽 또는 왼쪽 발을 대에 올려놓는다.
3. 이때의 동작을 ‘하나’라고 한다.
4. 또 다른 발을 대 위에 올려놓는다. 이 동작을 ‘둘’이라고 한다.
5. 두발이 대 위에 올라갔으면 처음 대 위에 올려놓았던 발부터 내려놓는다. 이 동작을 ‘셋’이라고 한다.
6. 마지막 발을 내려놓는데 이때의 동작을 ‘넷’이라고 한다.
7. 이와 같은 동작을 반복 실시하는데 약 1분간에 30회 정도의 횟수로 하며 5분간 진행한다.
8. 계측원의 ‘그만’이라는 구멍이 떨어지면 즉시 하는 동작을 멈추고 정해진 의자 또는 대에 앉는다.

측정 시 주의해야 될 사항은 다음과 같다.

1. 하버드 스텝 중에 발을 대 위에 완벽하게 올려놓는 동작만을 인정한다.
2. 두발이 대 위에 모두 올라왔을 때는 완전히 선 자세가 되도록 한다.



하버드 스텝 테스트(havard step test)



- 가설 : 실험군의 대조군보다 근피로도가 덜할 것이다.

### 2) 실험 절차

1. RS scan system을 사용하여 편평족으로 판명된 10명의 대상자를 무작위로 실험군과 대조군으로 각각 5명씩 구분한 뒤 blind test로 실험을 시작한다.
2. 실험군은 미세전류가 흐르는 신발을 신고, 대조군은 모양은 같지만 미세전류가 흐르지 않는 신발을 신는다.
3. 대상자의 하지와 체간근육에 근전도 패드를 부착한 후 보행을 실시하여 각 근육의 근피로도를 측정한다.
4. 하버드 스텝 운동을 5분간 실시한다.
5. 트레드밀에서 10분간 시속4km로 걷는다.
6. 마지막으로 하버드 스텝 운동 전과 동일하게 보행을 실시하여 각 근육의 근피로도를 측정한다.

### 3. 측정 방법

#### 1) 편평족 검사

편평족을 구분하는 방법에는 시각적인 측정법, 인체측정학적인 방법, 족적도(footprint)측정, 방사선적 평가가 있다.(Razeghi & Batt, 2002)

본 연구에서 편평족을 구분하기 위한 방법으로 족적도 측정법을 적용하였고, 기구는 RS scan system(RS scan Ltd., German)을 사용하여 검사하였다. RS scan system은 실험자가 RS scan system위에서 걷게 되면 압력판의 디지털센서가 모니터에 실험자의 족적도를 나타낸다(그림1).

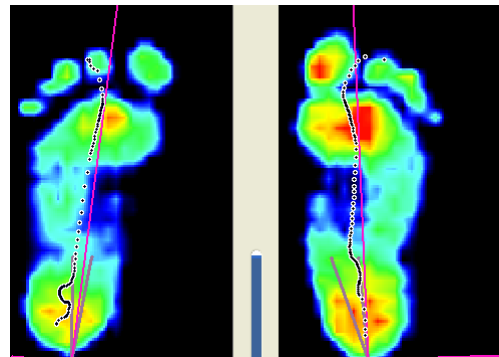


그림 1.

#### 2) 근 활성화도 평가

근육을 측정하기 위하여 표면근전도 MP150(BIOPAC System Inc.CA.USA)를 이용하였다. 데이터는 개인용 컴퓨터에서 Acqknowledge3.9.1(BIOPAC System Inc.USA) 소프트웨어를 이용하여 필터링과 기타 신호를 처리하였다.

보행근육의 피로도 분석을 위해 전경골근, 비복근, 복직근, 척추기립근, 내측광근, 대퇴이두근 활동을 측정하였으며 활성전극(Ag-Ag/Cl; BIOPAC, diameter 2cm, interelectrodedist ance 2cm)은 근섬유 방향과 평행하게 근복의 중간 부위에 배치하였다(Tirosh와 Sparrow, 2005). 전경골근은 경골조면지점, 비복근의 근복의 중앙지점, 복직근은 배꼽의 왼쪽 2cm지점, 척추기립근은 L1레벨의 왼쪽 2cm, 내측광근은 원위부 지점, 대퇴이두근의 원위부 지점에 부착하였으며(그

림 2) 피부저항을 최소화하기 위해 전극 부착부위를 면도한 후 알코올로 닦고 완전히 마른 후에 전극을 부착하여 실험을 하였다. 근전도 신호는 신호획득률(sampling rate) 1000Hz에서 수집하였으며, 30~500Hz에서 구간 필터링(band pass filtering)하고 60Hz로 notch필터 하였다(Ikegawa et al, 2000). 근피로 분석은 5분간의 하버드 스텝 운동 후 10분간 시속 4km로 보행을 실시하였고 운동전과 보행 후의 전경골근, 비복근, 복직근, 척추기립근, 내측광근, 대퇴이두근 근활성도를 측정하였다. 자료분석시 오차를 줄이기 위해 처음 1초와 마지막 1초를 제외한 3초간의 근전도를 이용하여 중앙주파수값을 계산한다. 컴퓨터에 저장한 후 MP150 Acqknowledge Software(BIOPT IC, USA)를 이용하여 FFT(fast fouriertrans formation)처리 후 얻어진 중앙주파수(MDF)를 이용한다.



그림 2.

### 3) 근피로 분석

근피로 분석은 근전도를 사용하여 근전도 신호를 주파수 평면으로 변환하는 주파수 스펙트럼분석(frequency spectrum analysis)을 실시 후 얻어진 중앙주파수 변화를 이용한다. 중앙주파수는 근육의 활동전위 전도속도와 II형 근섬유의 동원비율과 비례한다(Mannion et al, 1998). 근피로가 진행됨에 따라 근육 힘의 감소와

함께 주파수 스펙트럼의 중앙주파수가 고주파 대역에서 저주파대역으로 이동한다. 이것은 근피로가 근섬유 전도 속도를 감소시켜 II형 섬유의 동원이 감소되고 I형 섬유의 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 구성 비율이 높거나 상대적으로 더 많이 분포한 부분에서 나타난다(Gerdle 등, 1997; Gerdle 등, 2000). 또한 힘 또는 피로의 증가에 따른 중앙주파수의 변화는 근섬유의 구성비율과 크기에 의해 영향을 받는다. 피로가 유발되는 동안에 II형 섬유의 비율이 더 높거나 더 많이 분포된 부위에서 중앙주파수의 감소가 더 크게 나타난다. 이것은 I형 섬유보다 직경이 더 크거나 더 높은 전도속도를 가지고 있는 II형 섬유의 점진적인 동원으로 설명할 수 있다(Gerdle 등, 1991; Sadoyama 등, 1988).

### 4) 미세전류 적용

모든 재료는 전기장이 가해지면 부피가 조금씩 변한다. 그 중에서도 압력이 가해져서 변형이 생기고, 이 변형 때문에 전기적 분극이 일어나는 현상을 압전이라고 한다. 압전에 의해 발생하는 분극의 방향을 바꿀 수 있는 재료가 압전소자의 재료로 사용된다.

미세전류의 적용은 미세전류 신발을 제작하여 운동하는 동안 대상자의 인체로 흐를 수 있게 하였다. 발은 미세전류가 발생하는 압전소자를 발바닥의 뒤쪽 특수 제작된 깔창아래에 들어가게 제작되었다. 여기서 발생된 미세전류는 회로로 연결된 깔창부를 통해 인체에 흐를 수 있게 하였다(그림 3, 4, 5)(조용호, 2007). 실험군에 적용한 미세전류는 0.3/1초간 60~80 $\mu$ A의 정전압 맥동미세전류를 사용하였다(손호희 등, 2010).

60kg인 사람인 경우 이론적인 값은,

전류는 약 90 $\mu$ A~약 300 $\mu$ A

전압은 약 8V~약 26V의 값을 가지게 된다.

실 제작 시 약 80%의 효율을 가지므로 약 70~



260 $\mu$ A의 전류값과 약 7~22V의 전압값을 가지게 된다(조용호, 2007).



그림 3.



그림 4.



그림 5.

#### 4. 자료 분석

자료분석은 windows SPSS 12.0을 이용하여 통계처리하였다. 운동전과 후의 실험군과 대조군의 보행근육의 피로도를 비교하기 위하여 비모수 검정인 Mann-whitney를 실시하였다. 통계학적 유의 수준( $\alpha$ )은 0.05로 하였다.

### Ⅲ. 연구결과

#### 1. 연구대상자의 일반적인 특성

본 연구에 참여한 대상자를 표 1과 같이 미세전류가 흐르는 신발을 신은 사람을 실험군으로 설정하고 미세전류가 흐르지 않는 일반신발을 신은 사람을 대조군으로 설정 하였으며, 실험군의 평균나이는 23.40  $\pm$  0.06세, 평균 몸무게는 54.40  $\pm$  4.48kg, 평균 신장은 165.20  $\pm$  2.48cm, 평균 신발사이즈는 240.00  $\pm$  14.57mm

이다. 대조군의 평균 나이는 23.00  $\pm$  1.05세, 평균 몸무게는 60.40  $\pm$  5.04kg, 평균 신장은 168.80  $\pm$  3.29cm, 평균 신발 사이즈는 251.00  $\pm$  8.94mm이다. 연구 대상자는 선정기준에 부합되는 자를 선정 하였고 실험 실시 전에 실험 방법을 충분히 설명 한 후 자발적인 동의를 얻어 실시하였다.

표 1. General Characteristics of subjects (Mean  $\pm$  SE)

	대조군	실험군	p
나이(yr)	23.00 $\pm$ 1.05	23.40 $\pm$ 0.06	0.914
키(cm)	168.80 $\pm$ 3.29	165.20 $\pm$ 2.48	0.347
몸무게(kg)	60.40 $\pm$ 5.04	54.40 $\pm$ 4.48	0.295

#### 2. 미세전류에 따른 근피로도 분석

실험군과 대조군 간의 보행근육의 피로도 비교에서 내측광근, 비복근, 전경골근, 대퇴이두근, 척추기립근, 복직근을 비교 하였으며, 측정된 모든 근육에서 표 2와 같이 유의 확률이 모두 통계학적으로 유의한 차이를 나타 내었다( $p < 0.05$ ).

##### 1) 내측광근의 근피로도

내측광근의 운동 전 후의 근피로도 차이는 일반신발 착용 시 평균 30.31  $\pm$  4.75Hz, 미세전류 신발 착용 시 평균 16.07  $\pm$  1.45Hz 로 나타나 미세전류 신발 착용 시 근 피로도가 더 낮은 결과를 나타내었다. 일반 신발과 미세전류 신발의 착용에서 14.24Hz의 평균차이가 있었으며, 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다( $p < 0.05$ ).

##### 2) 비복근의 근피로도

비복근의 운동 전 후의 근피로도 차이는 일반신발 착용 시 평균 18.21  $\pm$  2.54Hz, 미세전류 신발 착용 시 평균 8.52  $\pm$  2.00Hz 로 나타나 미세전류 신발 착용 시 근 피로도가 더 낮은 결과를 나타 내었다. 일반 신발과 미세전류 신발의 착용에서 9.69Hz의 평균차이가 있었으며, 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다( $p < 0.05$ ).

표 2. result of each groups after exercise by Mann whitney (Mean ± SE)

		pre	post	pre-post	Z
VMO*	EG	73.65 ± 11.99	57.57 ± 11.71	16.07 ± 1.45	-2.61
	CG	97.20 ± 5.02	66.88 ± 4.00	30.31 ± 4.75	
GCM*	EG	112.00 ± 4.57	103.48 ± 3.77	8.52 ± 2.00	-2.40
	CG	116.15 ± 6.49	97.94 ± 5.47	18.21 ± 2.54	
TA*	EG	114.44 ± 6.18	103.05 ± 5.98	11.38 ± 0.66	-2.61
	CG	123.97 ± 8.80	103.42 ± 9.34	20.54 ± 1.25	
BF*	EG	100.92 ± 9.55	90.04 ± 8.02	10.88 ± 3.18	-1.98
	CG	122.62 ± 4.17	103.08 ± 6.35	19.54 ± 3.20	
ES*	EG	103.01 ± 7.22	90.20 ± 5.78	12.81 ± 1.80	-2.40
	CG	104.23 ± 3.55	83.89 ± 2.86	20.34 ± 1.64	
RA*	EG	115.09 ± 3.70	107.62 ± 3.42	7.47 ± 2.09	-1.98
	CG	108.83 ± 6.52	93.56 ± 10.76	15.26 ± 3.03	

(Unit : Hz)

VMO : 내측광근  
RA : 복직근

GCM : 비복근  
EG : 실험군

TA : 전경골근  
CG : 대조군

BF : 대퇴이두근  
Z : 정규분포검정

ES : 척추기립근  
p: 근사유의확률

\*p < 0.05

### 3) 전경골근의 근피로도

전경골근의 운동 전 후의 근피로도 차이는 일반신발 착용 시 평균 20.54 ± 1.25Hz, 미세전류 신발 착용 시 평균 11.38 ± 0.66Hz로 나타나 미세전류 신발 착용 시 근 피로도가 더 낮은 결과를 나타내었다. 일반 신발과 미세전류 신발의 착용에서 9.16Hz의 평균차이가 있었으며, 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다(p < 0.05).

### 4) 대퇴이두근의 근피로도

대퇴이두근의 운동 전 후의 근피로도 차이는 일반신발 착용 시 평균 19.54 ± 3.20Hz, 미세전류 신발 착용 시 평균 10.88 ± 3.18Hz로 나타나 미세전류 신발 착용 시 근 피로도가 더 낮은 결과를 나타내었다. 일반 신발과 미세전류 신발의 착용에서 8.66Hz의 평균차이가 있었으며, 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다(p < 0.05).

### 5) 척추기립근의 근피로도

척추기립근의 운동 전 후의 근피로도 차이는 일반

신발 착용 시 평균 20.34 ± 1.64Hz, 미세전류 신발 착용 시 평균 12.81 ± 1.80Hz로 나타나 미세전류 신발 착용 시 근 피로도가 더 낮은 결과를 나타내었다. 일반 신발과 미세전류 신발의 착용에서 7.53Hz의 평균차이가 있었으며, 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다(p < 0.05).

### 6) 복직근의 근피로도

복직근의 운동 전 후의 근피로도 차이는 일반신발 착용 시 평균 15.26 ± 3.03Hz, 미세전류 신발 착용 시 평균 7.47 ± 2.09Hz로 나타나 미세전류 신발 착용 시 근 피로도가 더 낮은 결과를 나타내었다. 일반 신발과 미세전류 신발의 착용에서 7.79Hz의 평균차이가 있었으며, 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다(p < 0.05).

## IV. 고 찰

본 연구는 미세전류의 적용이 편평족을 가진 사람



의 보행 시 발생하는 보행근육의 피로도 완화에 대한 효과를 알아보기 위해 시행하였다. 보행 시 주로 사용되는 근육에 피로를 유발하기 위해 하버드 스텝 테스트 실시하였고, 마무리 운동을 위하여 트레드밀에서 보행 후 EMG를 이용하여 근피로도를 측정하였다. 그 결과 미세전류신발을 신고 운동한 실험군은 대조군에 비해 보행근육의 피로도가 통계적으로 유의하게 감소되었다.

이런 결과를 선행연구에서 고찰해보면, 조용호(2006)는 건강한 20대 대학생을 대상으로 미세전류를 트레드밀에서 5.5km/h의 속도로 40분간의 보행에 적용한 결과 근육의 피로도가 유의하게 감소되었다는 보고와 유사한 결과로 미세전류가 운동 뒤 공급되는 혈액량을 늘려 근피로를 줄여주는 데 유의한 것으로 보여진다.

근피로는 근육의 반복적인 활동으로 인해 요구되는 것으로 더 이상의 운동을 유지할 수 없거나 근육이 발휘할 수 있는 최대근력의 감소로 정의되는 복합적인 신경근 기능의 저하현상이다(Millet & Lepers, 2004). 근피로의 발생은 높은 강도의 운동뿐만 아니라 낮은 강도의 운동을 지속할 때도 발생하며, 발생 정도는 운동의 강도와 기간에 좌우된다. 일반적으로 단기간 운동 후 나타나는 피로는 주로 근육의 원심성 수축으로 대사 요인 또는 근육의 손상에 기인한다고 알려져 있다(Braakhekke 등, 1989).

이에 본 연구에서는 편평족을 대상으로 미세전류에 의한 보행근육 피로도의 영향을 알아보려고 하였으며, 그 결과 미세전류자극을 적용한 실험군에서 대조군에 비해 보행근육 피로도가 통계적으로 유의한 감소를 나타내었다. 이러한 미세전류 적용의 효과로는 Cheng 등(1982)은 치료과정에 핵심적인 세 가지 변수인 ATP생성, 단백질 합성, 세포막 투과도에 대한 다양한 전류의 강도에 따른 생리적인 효과를 연구한 결과 미세전류가 세포의 생리와 성장을 자극함을 밝혔다. Lennox 등(2002)은 미세전류 신경근 자극이 지연성 근육통 이후에 나타나는 혈액내의 크레아틴 키나제(creatine kinase)성분의 상승을 감소시키는데 효과적이어서 지연성 근육통의 감소를 보인다고 하였다. 또한 족저근막염을 가진 사람을 대상으로 미세전류를 적용

한 연구(조용호, 2006)에서는 미세전류가 운동 뒤 공급되는 혈액량을 늘려 근피로를 줄여줌과 동시에 체열변화에까지 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

박래준 등(2006)과 조용호(2007)는 정상족을 대상으로 미세전류가 근피로도 감소에 미치는 영향을 연구하였다. 박래준 등(2006)은 전문의에게 족저근막염 진단을 받은 환자들 중, 육체노동을 심하게 하지 않는 50대의 일반 회사원과 가정주부를 대상으로 미세전류가 흐르는 신발을 6주 동안 매일 4시간 이상 착용시켰다. 그리고 근피로도를 전경골근과 가자미근에서 측정한 결과 전경골근에서만 근피로도가 통계적으로 유의하게 감소하였다. 조용호(2007)는 건강한 20대 대학생을 대상으로 실험 전에 근피로도를 측정하고, 미세전류가 흐르는 신발을 착용시켜 트레드밀에서 5.5km/h의 속도로 40분간 보행을 실시하였다. 그리고 근피로도를 전경골근, 가자미근, 비복근 내측두와 외측두에서 측정한 결과 비복근 내측두에서만 근피로도가 통계적으로 유의하게 감소하였다.

본 연구에서는 10명의 대상자를 각각 5명씩 실험군과 대조군으로 나누어 실험기간 동안 지속적으로 미세전류가 흐르는 신발을 신고 실험을 실시하였다. 단기간에 강한 보행근육의 피로를 유발시키기 위하여 하버드 스텝 테스트를 5분간 실시하고 마무리 운동을 위해 트레드밀 4km/h 속도로 10분간 보행을 하였다. 그 후 내측광근, 대퇴이두근, 전경골근, 비복근, 복직근, 척추기립근에서 근피로도를 측정하였다. 그 결과 보행근육의 피로도가 통계적으로 유의하게 감소하였다. 이것은 박래준(2006) 등과 조용호(2007)의 실험에서 전경골근과 비복근에서의 근피로도가 통계적으로 유의하게 감소한 결과와 일치한다. 미세전류를 적용한 대상의 보행근육의 피로도가 감소한 이유는, 전류 강도에 따라 ATP생성 증가 및 근피로가 발생된 것에 평소보다 혈액 공급이 증가되어 근피로도를 감소시킨 것으로 보인다.

선행 연구와 달리 본 연구에서는 하버드 스텝 테스트를 실시하여 짧은 시간에 강한 보행근육의 피로를 유발한 후, 트레드밀에서 마무리 운동을 한 다음 보행근육의 피로도를 측정하였다. 박래준 등(2006)의 연구

에서는 대상이 족저근막염 진단을 받은 50대 환자였고, 실험강도를 일상생활에서 가볍게 활동하는 수준으로 실험을 하여 본 연구와 연구대상의 체력과 실험강도에서 차이가 있었다. 조용호(2007)의 연구에서는 트레드밀에서 5.5km/h의 속도로 40분간 보행을 실시한 후에 근피로도를 측정하여 본 연구와 실험강도에서 차이가 있었다. 그렇기 때문에 선행 연구와는 달리 측정된 근육 모두에서 근피로도가 통계적으로 유의한 감소가 있었다고 생각된다.

본 연구는 편평족을 대상으로 미세전류 전기자극을 적용하여 보행근육의 피로도에 미치는 영향을 알아보고자 실시하였다. 본 연구의 대상자는 편평족이라는 특정 집단으로 한정되어있고, 연구에 참여한 대상자의 수가 적어 이를 일반화하여 해석하는 것에는 제한점이 있다. 또한 보행근육의 피로도만을 측정하여, 편평족의 발에서의 근육의 활성화도에 미치는 영향에 관해서는 차후 추가적인 연구가 필요할 것으로 고려된다.

본 연구의 결과로 미루어볼 때 미세전류의 적용이 편평족의 보행근육의 피로도를 감소시키는 영향이 있으므로 향후 편평족과 같이 근피로의 발생이 심한 환자를 위한 치료에 있어 미세전류의 적용이 긍정적인 영향을 미칠 것으로 생각된다.

## V. 결 론

본 논문에서는 편평족을 가진 성인남녀 10명을 대상으로 미세전류가 보행근육의 피로도에 미치는 영향에 대하여 실험을 실시하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 운동 후 내측광근의 근피로도는 대조군에 비해 실험군에서 유의한 차이가 나타났다.
2. 실험군 비복근의 근피로도는 대조군에 비해 유의한 차이가 나타났다.
3. 전경골근의 근피로도는 실험군이 대조군 근피로도에 비해 유의한 차이가 나타났다.
4. 실험군 대퇴이두근의 근피로도는 대조군에 비해 유의한 차이가 나타났다.

5. 운동 후 실험군 척추기립근의 근피로도 대조군의 근피로도에 비해 유의한 차이가 나타났다.

6. 복직근의 근피로도는 대조군에 비해 실험군의 근피로도가 유의한 차이가 나타났다.

본 연구에서는 미세전류가 편평족을 가진 사람의 보행근육 피로도에 미치는 영향에 대해 연구하였으며, 연구결과 대조군에 비해 실험군에서 보행근육의 피로도가 유의하게 감소하였다.

따라서 편평족의 보행근육 피로도 개선을 위한 방법으로 미세전류의 자극이 적극 권장될 수 있을 것이다. 앞으로 보행근육의 피로도 뿐만 아니라 인체 여러 분야의 미세전류 적용 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 참고 문헌

- 권원안, 박래준, 박윤기. 맥동전자장에너지의 미세전류가 가토의 상처치유에 미치는 영향. 대한물리치료학회지. 2000;12(3):19-29.
- 김상범. 편평족의 방사선학적 진단. 대한재활의학회지 2001;2(5):995-1001.
- 김성욱. 미세전류 전침이 스트레스 관련 호르몬에 미치는 영향. 한방재활의학과학회지 2003;13(4):43-49.
- 류지미, 김성수, 김경석, 정석희. 미세전류치료의 최근 임상연구논문 고찰. 한방재활의학과학회지 2008;18(4):121-133.
- 박래준. 경피신경전기자극과 미세전류자극이 정상인의 교감신경 긴장도에 미치는 영향. 대한물리치료학회지 1997;9(1):696-702.
- 박래준. 대학생층의 편평족 실태조사. 자연과학 1988;제11권:83-92.
- 박래준, 최상준, 조미숙, 조정선, 이윤미, 조용호, 박소현, Goh Ah Cheng. 족저근막염 환자의 미세전류발생 신발 착용이 족부 근피로 및 통증 완화에 미치는 영향. 대한물리치료학회지 2006;18(1):1-10.
- 박소현, 황윤태, 이현기. 미세전류의 적용이 아킬레스

- 건 손상에 미치는 영향. 한국스포츠리서치 2007; 18(4):157-165.
- 배성수, 이명희. 슬관절의 자세에 따른 족관절 저측굴곡근의 등속성 근력평가. 대한물리치료학회지 2000;12(2):145-152.
- 서태수. 청년층의 편평족 실태조사, 대한물리치료학회지 1997;9(1):97-101.
- 선상규, 정동춘, 고광준, 김지숙, 이강구, 최우진, 이학순, 구민주, 조승환, 황종학. 편평족과 정상족을 가진 사람의 체력 특성 비교. 한국스포츠리서치 2006;17(6):687-694.
- 오현주, 김종열, 박래준. 만성요통 환자에 대한 미세전류자극 치료가 통증 및 기능 회복에 미치는 영향. 대한물리의학회지 2008;3(1):47-56.
- 유상철. 웨이트 트레이닝시 발 형태에 따른 하지근력의 차이분석. 용인대 교육대학원. 2008
- 윤중문. 편평족의 생체역학적 발보조기 착용후 대퇴각의 변화. 경기대학교 논문집. 2007
- 이윤미, 박래준, 최상준, 조미숙, 조정선, 조용호, 박소현. 미세전류발생 신발 착용이 만성 족저근막염 환자의 혈류량 변화에 미치는 영향. 대한물리치료학회지 2006;18(3):71-78.
- 이재형. 은 이온도입이 세균성장에 미치는 영향. 대한물리치료학회지 1995;7(1):61-67.
- 장종성. 외적 조건에 의한 편평족 하지의 생역학적 분석. 대구대학교 논문집. 2010
- 정영중, 고수정, 유해영. 지연성 근육통에 대한 경피신경 전기자극과 미세전류 신경근 자극의 효과 비교. 한국전문물리치료학회지 2000;7(2) :76-87.
- 정종구. 편평족에 관한 고찰. 대한정형외과학회지 1978; 제13권 제4호:757-767.
- 조미숙. 미세전류가 토끼 경골의 골절 후 BMP-4 발현에 미치는 영향. 한국콘텐츠학회논문지 2010; 10(3):196- 203.
- 조비룡. 노인의 신체 기능 평가. 강정의학회지 제 24권 2005;8:689-695.
- 조용호. 미세전류 적용이 족부 근피로, 통증, 환체열변화에 미치는 영향. 대구대 대학원. 2007
- 조정선, 전제균, 박래준. 미세전류가 수부 체성경혈점의 실험적 동통 역치에 미치는 영향. 대한물리치료학회지 1994;6(1):85-93.
- 한상덕. 성인여자의 생리적 변화가 족부변화에 미치는 영향. 오산전문대학 논문집 1993;13:307-318.
- 형인혁. 발의 안정성이 균형과 근활성도에 미치는 영향. 대구대대학원. 2008
- Bilodeau M, Schindler-Ivens S, Willialms D.M : 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 J.P, Stegeman D.F, Joosten E.M : Increase in median power frequency of the myoelectric signal in pathological fatigue. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1989; 13(1):83-92.
- Carley and Wainapel : Electrotherapy for acceleration of wound healing : low intensity direct current. Arch Phys Med Rehabil. 1985;66(7):443-6
- Cheng N, Van Foof H, Bockx E : The effects of electric currents on ATP generation, protein synthesis, and membrane transport of rat skin. Clin Orthop Relat Res 1982; 171:264-272.
- Donatelli F, Triggiani M, Benussi S et al. Surgery for massive pulmonary embolism and cavoatrial renal carcinoma. Surgery 1996;119(5):596-597.
- Gerdle B, Henriksson-Larsen, K, Lorentzon, R : Dependence of the mean power frequency of the electromyogram on muscle force and fiber type. Acta Physiol Scand 1991; 142:457-465.
- Gerdle B, Karlsson S, Crenshaw A.G : The relationships between EMG and muscle morphology throughout sustained static knee extension at two submaximal force levels. Acta Physiol Scand 1997; 160: 341-351.
- Gerdle B, larsson B, Karlsson S : Criterion validation of surface EMG variable as fatigue indicators using peak torque. Electromyogr Kinesiol 2000; 10(4):

- 225-232.
- Ikegawa et al : Nonlinear time-course of lumbar muscle fatigue using recurrence quantifications. *Biol Cybern* 2000; 82(5):373-382
- Kanno S, Oda N, Abe M et al. Establishment of a simple and practical procedure applicable to therapeutic angiogenesis. *Circulation* 1999;99(20):2682-2687.
- Khamis & Yizhar : Effect of feet hyperpronation on pelvic alignment in a standing position. *Gait posture* 2007; 25(1):127-134.
- Lambert, M.I, Marcus, P., Burgess, T. et al. : Electromembrane microcurrent therapy reduces sign and symptoms of muscle damage. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34(4):602-607.
- Lennox A.J, Shafer J.P, Hatcher M : 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.
- Magee T. MR findings of meniscal extrusion correlated with arthroscopy. *J Magn Reson Imaging* 2008;28(2):466-470.
- Mannion et al : The influence of muscle fiber size and type distribution on electromyographic measures of back muscle fatigability. *Spine(Phila Pa 1976)* 1998; 23(5):576-584
- Millan, M.J : The introduction pain : An integrative review. *Progress in Neuro biology* 1999; 57:1-164.
- Miller, M.D, Ferris, D.G : Measurement og subjunctive phenomena in primary care research : The visual analogue scale, *Family practice research journal* 1993; 13:15-24.
- Millet G.Y, Lepers, R : Alteration of Neuromuscular function after prolonged running. *Cycling and skiing exercises*, *Sports Med* 2004; 34:105-116.
- Perry J. Gait analysis: technology and the clinician. *J Rehabil Res Dev* 1994;31(1):vii.
- Razeghi & Batt : Foot type classification: a critical review of current methods. *Gait posture* 2002; 15(3):282-2 91
- Sadoyama T, Masuda T, Miyata H : Fiber conduction velocity and fiber composition in human vastus lateralis. *Eur J Apple Physiol Occup Physiol* 1988; 57(6):767-771.
- Sgarlato TE, Morgan J, Shane HS et al. Tendo achillis lengthening and its effect on foot disorders. *J Am Podiatry Assoc* 1975;65(9):849-871.
- Taylor K.F, Bojescul J.A, Howard R.S, Mizel M.S, McHale K. : Measurement of isolated subtalar range of motion : acadaver study. *Foot Ankle Int* 2001; 22(5):426-432.
- Todd et al : Electrical stimulation of transforming growth factor-beta 1 Secretion by human dermal fibroblasts and the U937 human monocytic sell line. *Altern Lab Anim* 2001; 29(6):693-701
- Vite CH, Melniczek J, Patterson D et al. Congenital myotonic myopathy in the miniature schnauzer: an autosomal recessive trait. *J Hered* 1999;90(5): 578-580.
- Zhao M, Bai H, Wang E et al. Electrical stimulation directly induces pre-angiogenic responses in vascular endothelial cells by signaling through VEGF receptors. *J Cell Sci* 2004;117(Pt 3):397-405.

논문접수일(Date Received) : 2011년 6월 4일

논문수정일(Date Revised) : 2011년 6월 20일

논문게제승인일(Date Accepted) : 2011년 6월 22일

---