

## 트레드밀 운동 동안 인솔의 종류가 피로도에 미치는 영향

고은혜

한서대학교 대학원 물리치료학과

최홍식, 김택훈, 노정석

한서대학교 물리치료학과

이강성

한서대학교 의료보장구학과

### Abstract

#### Effect of the Fatigue to Insole Types During Treadmill Exercise

Ko Eun-hye, M.Sc., P.T.

Dept. of Physical Therapy, The Graduate School, Hanseo University

Choi Houn-g-sik, Ph.D., P.T.

Kim Tack-hoon, Ph.D., P.T.

Roh Jung-suk, M.Sc., P.T.

Dept. of Physical Therapy, Hanseo University

Lee Kang-sung, M.Sc., P.T., C.P.O.

Dept. of Prosthetics and Orthotics, Hanseo University

The purpose of this study was to assess the effect of applied insole types to lower extremities muscle fatigue during treadmill exercise. The control group and each different insole type group consisted of ten healthy male subjects. In the control group and each different insole type (soft type; 10 shore, semi-rigid type; 33 shore, rigid type; 50 shore) treadmill exercise was performed in twenty-five minutes. The electromyography (EMG) signals of four muscle (tibialis anterior, gastrocnemius medialis, rectus femoris, biceps femoris) were recording at sampling rate of 1024 Hz during treadmill exercise. The localized muscle fatigue (LMF) can be investigated using power spectral analysis. When did data analysis that excepted initial five minutes. The raw EMG signals was processed using the fast Fourier Transformation (FFT) and the median power frequency value was determined in initial ten second period and in last ten second period. Fatigue index was calculated and collected data were statistically analyzed by SPSS version 10.0 two-way using analysis of variance (ANOVA) with repeated measures (4×4) was used to determine the main effect and interaction. Post hoc was performed with least significant difference. A level of significance was .05. Muscles fatigue index were significantly decreased in insole types ( $p < .05$ ) and not significantly different in muscle ( $p > .05$ ). Post hoc analysis shows that fatigue index in soft insole type, semi-rigid insole type and rigid insole type were lower than that control group ( $p = .028$ ,  $p = .146$ ,  $p = .095$ ). There were no interaction between insole type and muscles ( $p > .05$ ). The finding of this study can be used as a fundamental data when insole is applied and insole can be used to decreased of a fatigue during the dynamic exercise.

**Key Words:** Electromyography; Fatigue; Insole type; Median power frequency; Treadmill exercise.

## I. 서론

생활수준이 향상되면서 건강을 지키는 중요한 수단으로 운동의 비중이 높아지고 있다. 우리나라는 2000년을 기점으로 달리기 인구가 증가하여 현재는 10만 명이 넘는 것으로 추산된다(정동식, 2002). 스포츠에 참여하는 인구가 증가함에 따라 관련 질병 및 부상의 빈도도 증가한다(Dixon 등, 2000). 운동프로그램이 강도와 적절한 지속시간을 고려하지 않고 구성될 때 실제적인 효과 부족은 물론 피로누적 및 과사용 증후군(overuse syndrome)과 같은 부정적인 결과를 가져온다.

보행 시 발은 체중의 80% 정도의 부하를 받고 1 km를 달리는 동안 1,100번이 넘게 땅을 딛어야하고, 딱딱한 지면에 매일 10,000번 정도를 부딪치며, 체중을 10,000번 정도 들어올린다. 발에는 내·외측 종족궁(longitudinal arch)과 횡족궁(transverse arch)이 있으며 정상적인 발의 체중 부하점은 제1 중족골 머리와 제5 중족골 머리 그리고 발꿈치뼈의 바닥면이 이루는 삼각 지점에서 이루어진다(Burgess 등, 1997). 엄지발가락은 체중을 한쪽 발에서 다른 쪽 발로 옮겨주는 지렛대의 역할을 하며, 각 발가락은 지면을 움켜쥐어 앞으로 전진하는 동작을 도와주게 된다. 또한, 발과 다리는 지표면과 몸을 연결하고 몸에 가해지는 충격을 일차적으로 흡수하며 발의 뒤축은 최소의 에너지 소모로 신체를 균형 있게 지탱해주는 역할을 한다(Tochigi, 2003).

골격근의 피로는 신경근의 활성이 시작되면서부터 발생하여 전기적인 활성, 전기적인 전달, 수축과정 동안 근섬유 구성성분의 기능변화와 같이 다양한 요소의 변화를 일으킨다(Bigland-Rithie 등, 1986). 운동은 근육 내 글리코젠을 비롯한 에너지를 고갈시키고, 근육의 긴장을 유발하고 혈관, 임파, 신경의 소통을 막으며, 이로 인해 젖산을 비롯한 에너지 대사과정의 부산물이 배출되지 못하고 점차 축적되어 특정 부위 관절이나 근육의 통증 발생, 발바닥근막염과 같은 염증 발생, 운동속도의 감소 등을 일으킨다. 또한 근력의 약화, 지구력의 결여, 자세조절 능력과 근육의 협응 능력 손상 등이 나타난다. 따라서 트레이닝 시 부상이나 통증 발생을 예방하고, 속도를 증가시킬 수 있는 합리적인 동작과 피로를 적게 유발시키는 것이 중요하다(Adams 등, 1997).

Gardner 등(1988)은 인솔(insole)은 각종 스포츠화에 넣어 편히 사용할 수 있으며, 충격을 흡수하여 발목 및 무릎관절을 보호하고, 체중을 분산시켜 피로를 줄일 수

있다고 발표하였다. Dixon 등(2003)은 군화(military boot)에 4가지 인솔을 사용하고 달리는 동안 하지의 역학적 분석에 대해 보고하였으며, Schweltnus 등(1990)은 인솔 착용은 9주 동안의 기본적인 군대 체력 훈련 프로그램에서 과사용 손상과 경골 스트레스 증후군(tibial stress syndrome) 발생을 감소시킨다고 보고하였다. Windle 등(1999)은 서로 다른 4가지 인솔을 사용하고 보행하였을 때 발뒷꿈치 닿기(heel strike) 기간 동안 최대 압력(peak pressure)이 감소한다고 하였다. 또한, 충격 흡수 인솔 사용은 발뒷꿈치에서 37%, 전족(forefoot)에서 24%의 최대 압력을 감소시킨다고 발표하였다. Cook 등(1985)은 달리기 선수에게서 인솔의 사용은 충격을 흡수하고 운동을 조절하며, 달리는 거리에 따라서 다르지만 신발의 초기 충격 흡수 능력의 약 70%정도까지 유지시킨다고 하였다. Tang 등(2003)은 발뒤꿈치 손상 환자에게 발바닥 전체 닿는 인솔(total contact insole)을 사용하지 않은 경우 걸은 속도와 보폭(step length)이 감소하고, 양발 지지(double-limb support) 기간이 길어지고, 한발지지(single-limb support) 기간이 짧아진다고 하였다. 또한, 고관절 힘 생성 능력(power generation)과 발목관절 힘 생성 능력에 영향을 미치고, 인솔을 사용한 경우 보행 형태(gait pattern)가 회복된다고 하였다. 그러나 운동 시 사용된 인솔과 관련된 많은 연구에 비하여 피로도에 인솔이 미치는 영향에 대한 연구는 적었다.

본 연구의 목적은 3가지 종류의 인솔에 따라 트레드밀 운동 동안 근육의 피로도 차이를 관찰하고, 족부변형 뿐만 아니라 환자의 운동 동안이나 달리기와 같은 스포츠 훈련 동안 인솔 사용이 피로도에 미치는 영향을 보고자 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상 및 연구기간

본 연구는 한서대학교 재학 중인 자발적인 동의를 얻은 발 크기가 265 mm, 270 mm, 275 mm인 신체 건강한 성인 남자 40명으로 2003년 10월 1일부터 12일까지 시행하였다. 연구 참여 희망자 중 최근 6개월 동안 하지의 특별한 운동을 하지 않은 자를 대상으로 하였다. 족부의 병변이나 상하지 정형외과적, 신경외과적 질환의 진단적인 장애나 통증, 심혈관계의 병변이 있는 자는 제외하였다.

## 2. 실험기기 및 인솔의 종류

### 가. 실험기기

본 연구에서는 근육의 피로도를 측정하기 위해 근전도기(EMG)<sup>1)</sup>와 지름이 1 cm, 전극간의 간격이 2 cm인 이극 표면 전극(bi-polar surface electrode)<sup>2)</sup>을 사용하였으며, 트레드밀<sup>3)</sup> 운동 동안 대상자의 운동 전·후의 혈압과 심박동수를 측정하기 위해 심박수 측정계<sup>4)</sup>를 사용하였다.

### 나. 인솔의 종류

5 mm 두께의 부드러운 재질<sup>5)</sup>, 약간 딱딱한 재질의 인솔<sup>6)</sup>과 6 mm 두께의 딱딱한 재질<sup>7)</sup>의 인솔을 사용하여 실험하였다.

## 3. 실험방법

### 가. 트레드밀 운동방법

트레드밀 운동시 인솔을 적용하지 않은 대조군 10명과 각각의 인솔 종류에 따라 10명씩 무작위로 집단을 구분하였고, 대상자에게 운동할 때 충분한 교육을 하였다. 트레드밀 운동 전에 근전도의 전극을 부착하였으며, 각 집단의 대상자는 정해진 신발을 신고 경사도가 0°인 트레드밀에서 각자 50%의 운동 강도에 해당하는 목표 심박수로 25분 동안 지속하여 운동하였다. 50%의 운동 강도에 해당하는 목표 심박수는 최대 심박수에 .5를 곱하여 계산하였으며, 최대 심박수는 220에서 대상자의 나이를 뺀 값으로 정하였다.

### 나. 전극 부착 부위

근전도의 표면전극과 접지전극(ground electrode)<sup>8)</sup>은 우세 발(dominant foot)에 부착하였다. 표면전극 부착 부위에서 피부저항을 감소시키기 위해 털을 제거하고, 가는 사포로 3~4회 문질러 피부각질층을 제거하였다. 전극에 소량의 전해질 젤을 발라 부착한 후 종이테이프

로 고정하였다.

무릎관절 외측 관절융기(lateral condyle)와 외측복사(lateral malleolus)를 연결한 선의 상위 75%부위에 앞정강근(tibialis anterior)의 전극을 부착하고, 슬외부에서 내측 관절융기와 발꿈치뼈(calcaneus)를 연결한 선의 상위 30%부위에 장딴지근 안쪽갈래(gastrocnemius medialis)의 전극을 부착하였다. 넓다리곧은근(rectus femoris)의 전극은 위앞엉덩뼈가시(anterior superior iliac sacrum)와 무릎골끝(patellar apex)사이 50%부위, 넓다리두갈래근(biceps femoris)의 전극은 궁둥뼈 결절(ischial tuberosity)과 대퇴 외측 위관절융기(lateral epicondyle) 사이 50%부위에 부착하였다. 접지전극(ground electrode)은 발목관절 외측복사(lateral malleolus)에 부착하였다.

### 다. 근전도 신호의 기록 및 신호처리

근전도 신호의 표본 수집률은 1024 Hz이었으며, 잡음을 제거하기 위해 10~450 Hz의 대역 통과 필터(band pass filter)와 60 Hz 대역 여과 필터(band stop filter)를 사용하였다. 25분 운동 동안 근전도 신호를 수집하고, 수집된 근전도 신호 중에서 목표 심박수에 도달하는 시간을 고려하여 운동 시작 후 5분을 제외한 전체 운동시간의 근전도 신호를 root mean square(RMS)하였다. 5분을 제외한 그 다음부터 운동 마지막까지 10초씩 fast Fourier transformation(FFT) 주파수 분석(frequency power spectrum)하여 중앙주파수 값을 얻었다.

### 라. 피로지수

근전도의 중앙주파수 값을 사용하여 피로지수(fatigue index)를 알아보았다. 회귀직선(regression line)을 그렸을 때 회귀직선이 Y축과 만나는 값을 최초 중앙주파수(initial median frequency)로 사용하였고, 마지막 중앙주파수 값(lasting median frequency)은 회귀직선 상에서 운동이 종료된 시점의 값으로 사용하였다. 피로지수(fatigue index)는 초기 중앙주파수에서 마지막 중앙주파수를 뺀 값을 초기 중앙주파수로 나누어 계산하였다.

## 4. 분석방법

본 연구에서 자료의 통계 처리는 상용 통계 프로그램인 윈도우용 SPSS version 10.0을 사용하였다. 각각의 인솔 종류와 근육 피로도 사이의 영향을 보고자 반복 측정된 이요인 분산분석(two-way repeated ANOVA)

1) MP100A-CE, BIOPAC System Inc. CA. U.S.A.  
2) TSD 150B, BIOPAC System Inc. CA. U.S.A.  
3) Sport Art 3200, Inc. Taiwan.  
4) Solar FIT Novatech HRM, Solar sports. Korea.  
5) Dyatec od0-4020-1, 10 shore.  
6) Dynoform perforated od0-3016-9.. 03, 33 shore.  
7) Micro Cork 620p4=6, 50 shore.  
8) EL503, BIOPAC System Inc. CA. U.S.A.

**표 1. 연구 대상자의 일반적인 특성**

집단	대상자수(명)	연령(세)	신장(cm)	체중(kg)	발크기(mm)
대조군	10	23.8±1.69*	173.4±4.60	68.8±9.77	269.0±5.16
부드러운 인솔	10	22.6±1.71	176.2±4.34	67.9±4.70	268.0±4.22
약간 딱딱한 인솔	10	22.3±2.11	174.3±4.71	64.4±5.64	266.5±2.42
딱딱한 인솔	10	21.8±2.04	174.3±4.64	67.6±6.15	268.0±3.50

\*평균±표준편차

을 실시하였고, 사후 검정방법으로 least significant difference(LSD)를 사용하였다. 통계학적 유의성을 검정하기 위해서 유의수준  $\alpha$ 는 .05로 하였다.

### III. 결과

#### 1. 연구대상의 일반적인 특성

실험에 참가한 인솔을 착용하지 않은 대조군의 평균 연령은 23.8세, 평균 신장은 173.4 cm, 평균체중은 68.8 kg, 평균 발 크기는 269.0 mm이었다. 부드러운 인솔을 착용하고 운동한 집단의 평균연령은 22.6세, 평균신장은 176.2 cm, 평균체중은 67.9 kg, 평균 발크기는 268.0 mm 이었으며, 약간 딱딱한 재질의 인솔을 착용한 집단의 평균연령은 22.3세, 평균신장 174.3 cm, 평균체중은 64.4 kg, 평균 발크기는 266.5 mm이었다. 또한, 딱딱한 인솔을 착용한 집단의 평균연령은 21.8세, 평균신장은 174.3 cm, 평균체중은 67.6 kg, 평균 발크기는 268 mm이었다(표 1).

#### 2. 인솔의 종류에 따른 근육의 피로도 차이

인솔을 착용하지 않고 운동한 대조군, 부드러운 인솔, 약간 딱딱한 인솔, 딱딱한 인솔을 착용하고 운동한 집단의 피로지수를 비교하였다. 인솔과 근육간의 상호 작용에서는 유의한 차이가 없었다( $p>.05$ ). 인솔의 종류에 따라 피로지수의 유의한 감소를 나타냈고( $p<.05$ ), 사후 검정 결과 대조군과 부드러운 인솔을 착용한 집단 사이에서 유의한 감소를 나타냈다( $p<.05$ )(그림 1)(그림

2). 각 근육에서는 유의한 차이가 없었다( $p>.05$ )(표 2).

### IV. 고찰

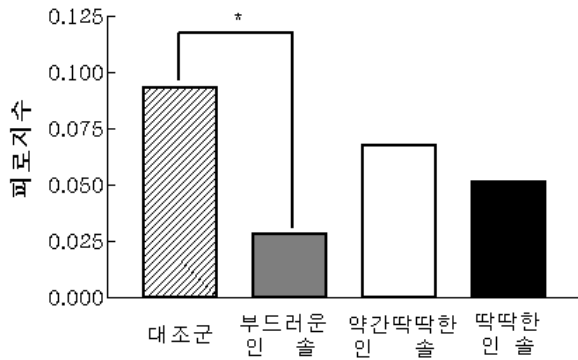
#### 1. 연구방법에 대한 고찰

일반인의 건강 유지 및 향상과 운동선수들의 경기력 향상, 환자의 운동능력 향상을 위해서 임상에서 치료사는 평가와 치료방법 뿐만 아니라 손상의 위험성을 줄이기 위한 방법을 제시해야 한다(Gary 등, 1995). 하지와 관련된 발의 움직임은 열린회로 움직임(open kinematic chain)과 닫힌회로 움직임(closed kinematic chain)으로 설명된다. 특히 달리기, 점핑과 춤추기와 같은 닫힌회로 활동은 발이 바닥에 고정된 상태에서 신체의 움직임이 일어나기 때문에 발의 정열이나 기전을 이해하는 것은 임상에서 필요하다(Carol, 2003).

근골격계의 과사용 손상은 일반적으로 손상을 일으키는 역치 이하의 힘이 여러 번 반복하여 가해질 때 피로가 겹치면서 발생된다(Elliott, 1990). 최근 동물이나 사람의 피로도에 관한 연구에서 인대와 근육으로부터 감각-운동계까지 전해지는 정보가 줄어든다고 나타났다(Solomonow 등, 1998). 또한, Ebenbichler 등(2001)은 근육이 피로한 경우 수축의 특성이 변한다고 하였다. 근육의 피로를 확인하는 방법으로 주파수 스펙트럼 분석에 의한 중앙주파수(median power frequency)와 평균주파수(mean power frequency) 값을 구하는 것이 있다. 그 중에서 중앙주파수값이 신뢰성과 일관성이 있으

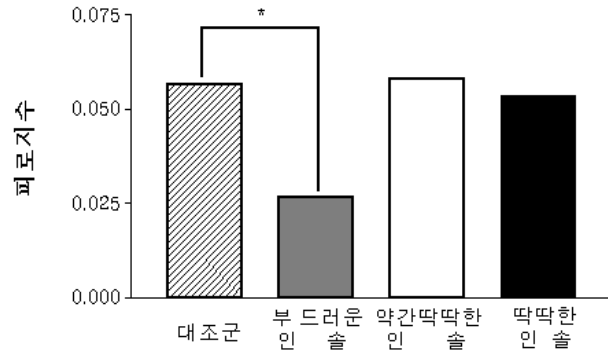
**표 2. 반복측정된 이요인 분산분석에 의한 인솔 종류에 따른 근육의 피로지수**

구분	평방합	자유도	평방평균	F	p
인솔	.041	3	.014	3.688	.024
근육	.042	3	.014	.610	.614
인솔×근육	.017	9	.019	.856	.568



\*p<.05

그림 1. 인솔의 종류에 따른 앞정강근의 피로지수



\*p<.05

그림 2. 인솔의 종류에 따른 장딴지근 안쪽갈래의 피로지수

며, 원래의 스펙트럼 성질을 잘 반영하여 가장 많이 사용된다(원종임 등, 2001). Nagamachi 등(2000)은 트레드밀 운동 동안에 체간 근육의 국소적 근육 피로에 대한 지표로 표면근전도의 중앙주파수가 신뢰성이 있다고 하였다.

국소적인 근육의 피로(local muscle fatigue)를 분석할 때 근육의 피로에 따라서 힘의 수준과 활동 전위 비율(action potential rate)의 변화, 운동단위의 발화율(firing rate)과 동기화(synchronization), 근섬유 동원(recruitment)의 변화로 인한 근전도 주파수분석에서 중앙주파수의 감소와 근전도 신호 크기가 증가됨을 알 수 있다(De Luca, 1993; Hamill과 Knutzen, 2003). 그러나 Wakeling 등(2001)은 표면근전도를 사용하여 최대하 운동(sub-maximal exercise)을 유지하는 동안 중앙주파수의 변화를 관찰한 결과 저주파수의 근전도 신호는 감소하고, 고주파수는 신호는 증가한다고 하였으며, 이는 근육동원 형태(recruitment pattern)가 변하기 때문이라고 하였다. 또한, 역동적인 운동에서 주파수 스펙트럼의 변화는 등적성 운동만큼 일관성이 없고, 특히 낮은 강도의 역동적 운동 시 혈액공급이 충분히 이루어지기 때문에 변화가 거의 없다(원종임 등, 2001; Ament 등, 1993). 그러나 본 연구는 근육의 피로도를 관찰하는데 있어서 근전도 중앙주파수 분석을 이용하였고, 트레드밀 운동 시 각 대상자의 50%의 운동 강도로 운동하였을 때 운동시간이 지속될수록 근육의 피로도는 증가하고 따라서 중앙주파수가 감소함을 알 수 있었다.

본 연구에서 사용한 표면 근전도기는 전극의 부착 부위에 민감하기 때문에 위치 선정에 대한 결정이 매우 중요하였다. 인접한 근육을 제외하고 연구하고자 하는 근육만의 활성도를 기록하기 위하여 혼선(cross-talk)이라

고 불리는 현상을 최소화하고자 하였다. 남기석 등(1999)은 이를 위해서는 가장 얇은 층의 근육이면서 횡단면적이 가장 큰 근육으로서 인접한 근육과 겹치는 부분이 최소인 근육을 선택하여야 한다고 하였다. 따라서 본 연구에서 선택된 전극의 부착 부위는 Ericson 등(1985)의 연구에서 제시한 전극 부착 부위를 이용하였다.

## 2. 연구결과에 대한 고찰

일반적으로 달리기와 같은 운동 동안 손상을 일으키는 요인으로 해부학적, 생체역학적(biomechanical) 그리고, 훈련과 관련된 변수로 설명한다(Hreljac 등, 2000). Terry 등(1997)은 선천적인 발의 이상이나 질병은 약 5%, 후천적인 발의 이상이나 질병은 95%정도에 이한다고 하였다. 해부학적 변수와 관련된 연구에서 달리기 선수의 높은 종족궁이 손상의 위험성을 높인다고 하였고(Wen 등, 1997), 발목관절의 과운동성(hypermobility)을 가진 선수가 저운동성(hypomobility)을 가진 선수보다 손상의 위험성이 더 크다고 하였다(Messier, 1988). 역학적인 변수와 관련된 운동형상학적(kinematic), 운동역학적(kinetic) 연구에서 종골의 외반으로 측정하는 발의 회내 비율과 크기에 관하여 보고하였다(Messier 등, 1988). 달리는 거리, 훈련 강도나 속도의 증가, 훈련동안 바닥면의 특성과 선택된 신발 등이 훈련 변수에 속한다(Jacobs과 Berson, 1986; Paty, 1994).

신발은 발의 스트레스에 영향을 주는 외적 요소로 신발의 좁은 발가락 부분은 전족(forefoot)에 건막류(bunion)를 형성하고, 망치발가락 변형(hammer toe deformity)을 일으킨다. 그러나 신발은 또한 발뒷꿈치 닿기(heel strike)에서 발과 발목의 충격을 흡수하거나 발의 과도한 움직임을 조절하고, 발에 나타나는 여러 가

지 병적 상태로 발생하는 통증을 완화하거나 기형교정을 위한 치료의 목적으로 사용된다(Mueller과 Maluf, 2002). 발의 정상적인 체중 부하 지점에 체중이 가해지도록 구두의 내, 외측 구조를 수정하는 것이다. 그러나 사용자의 편안함, 안정성 그리고 보행을 용이하게 하기 위해 발바닥에 인솔 형태로 적용하는 경우도 있다. 김장환 등(2003)은 인솔은 압력 분배와 충격 흡수성에서 패드나 코르셋보다 효과적이라고 하였다. Migg 등(1999)은 인솔 재질의 특성은 신체 입력신호의 빈도(frequency)와 크기(amplitude)에 영향을 주고, 감각계에 의해 영향을 받는다고 하였다. 또한, 주문 제작한(custom-made) 인솔뿐만 아니라 서로 다른 모양과 서로 다른 재질의 여러 가지 인솔 사용은 아치의 높이, 발뒹꿈치의 모양과 발뒹꿈치와 전족의 탄력성(elasticity)에 영향을 주어 신발 착용 시 편안함을 증가시키며, 하지의 통증이나 손상 발생률을 감소시킨다고 하였다. Dixon 등(2000)은 인솔의 사용은 발뒹꿈치 들기(heel off)에 영향을 주기 때문에 최대 발목 굴곡(peak ankle dorsiflexion) 각도와 관련된 아킬레스건 염좌의 발생을 감소시킨다고 하였다. Nyland 등(1994)은 피로는 하지의 손상과 관련된다고 하였으며, 피로 동안 무릎의 굴곡근과 신전근의 활성도가 늦어진다. 또한, 굴곡근이 피로한 상태에서 무릎의 안정성을 위해서 신전근의 기계적인 특성에 따라 근육 활성 시간이 굴곡근과 다르다고 하였다. Marshall 등(2000)은 인솔의 사용은 충격력(impact force)의 크기, 충격량(impact loading)의 비율, 바닥을 밟는 힘(push-off force)의 크기를 감소시킨다고 보고하였다.

Christina 등(2001)은 달리는 동안 근육의 피로가 발목관절의 운동과 지면반발력에 대한 연구에서 피로에 따라서 충격량의 최대 크기(impact peak magnitude)와 바닥을 밟는 힘은 변하지 않는 반면에 배측굴곡근(dorsiflexor)의 최대 충격량의 비율은 증가한다고 하였다. Foto 등(1999)은 과도한 훈련은 하지의 손상을 일으키며, 손상을 줄이기 위한 하나의 방법으로 충격 흡수 인솔(shock-absorbing insole)을 사용한다고 하였다. Tang 등(2003)은 발뒹꿈치 손상을 받은 환자가 발바닥 전체 인솔을 착용한 경우 비대칭적인 보행 형태(asymmetry gait pattern)가 변화되고, 인솔을 착용하지 않은 경우 발뒹꿈치 닿기와 초기 유각기(preswing phase) 때 정상인의 고관절에서 생성된 .36과 .89 Nm/kgm 힘보다 작은 .17과 .45 Nm/kgm 힘이 발생

한다고 하였다. 또한, 인솔을 착용하지 않은 발뒹꿈치 손상 환자의 경우 정상인의 발목관절에서 초기 유각기 때 생성된 2.24 Nm/kgm 힘보다 작은 힘이 발생된다고 하였다. 이는 피로에 대한 영향을 고려하지 않은 실험으로 인솔 착용 시 발뒹꿈치 닿기와 초기 유각기 때 힘 생성 능력이 향상되어 나타났다.

Tang 등(2003)은 인솔 재질의 기계적인 실험(mechanical test)에서 달리기와 같은 운동 동안 딱딱한(stiffness) 인솔을 사용한 경우 반복 충격량 자극이 증가한다고 보고하였다. 본 연구에서는 인솔이 역동적인 운동을 하는 동안 근육의 피로도 감소에 미치는 영향은 확인하였으나, 각 근육별로 대조군과 각각의 인솔 착용 집단의 중앙주파수를 비교한 결과 일관성 있는 변화는 관찰할 수 없었다. 앞정강근과 장딴지근 안쪽갈래의 경우 부드러운 인솔에서 큰 피로도 감소를 나타냈다. 넙다리곧은근과 넙다리두갈래근도 부드러운 인솔 사용시 피로도가 감소하였지만, 넙다리곧은근은 약간 딱딱한 인솔을 사용하였을 때 피로도가 감소하였고, 넙다리두갈래근은 딱딱한 인솔을 사용하였을 때 크게 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 보행형태가 대상자에 따라 다르고, 같은 사람이라도 피곤하거나 걷는 속도에 따라서 근육을 사용하는 형태가 다르기 때문이며, 어떤 특정한 근육이 쓰여질 수 없을 때 다른 근육이나 근육군에 의해 그 기능이 대신 수행되어질 수 있는 근육계의 잉여성(redundancy)으로 설명할 수 있다(Whittle, 1994).

본 연구에서는 트레드밀 운동 동안 인솔을 착용하지 않은 대조군과 부드러운 인솔을 착용한 집단, 약간 딱딱한 인솔을 착용한 집단, 딱딱한 인솔을 착용한 집단의 근육 피로도를 관찰한 결과 인솔과 근육간의 상호작용은 없었고( $p>.05$ ), 인솔의 종류에 따라서 피로지수는 유의한 감소를 나타냈다( $p<.05$ ). 사후 검정 결과 부드러운 인솔을 사용한 집단의 경우 피로 감소에 가장 효과적이라고 나타났다. 부드러운 인솔의 사용은 지면과 발바닥에서 발생하는 충격을 효과적으로 흡수하여 운동 동안 사용되는 에너지의 고갈을 감소하고, 에너지의 효율성을 증가시켜 근육의 피로도를 감소시킨 것으로 볼 수 있다.

### 3. 제한점 및 제안

본 연구 결과를 근거로 운동선수의 훈련 동안이나 임상에서 환자의 운동 시 근육의 피로감소에 도움이 되는 적당한 인솔을 처방하고, 사용하는 것이 필요하다.

향후 연구에서는 트레드밀의 운동 각도와 운동 속도를 변화시켜 다양한 운동 강도에서 인솔의 사용이 근육의 피로도에 미치는 영향과 생체역학적인 근육의 에너지 흡수 측면에서 피로 경향에 미치는 영향을 관찰할 필요가 있다. 즉, 앞정강근은 발꿈치 닿기 시 주로 작용하는 근육으로 인솔을 사용하는 것은 충격흡수와 체중분배 측면에서 효율적이며, 넙다리곧은근은 발끝떼기(toe off) 시 주로 활성화되어 앞으로 전진하는 힘을 발생시키는 근육으로 보행 주기와 관련하여 각각의 근육에 인솔이 미치는 영향을 관찰하는 것이 필요하다. 또한, 본 연구의 대상자는 인솔의 착용이 익숙하지 않은 자극인 점을 고려하여 인솔을 대상자 발의 변형에 맞게 제작하고, 대상자에게 일정기간 착용하게 한 후 피로도에 인솔이 미치는 영향에 관해 연구해 볼 필요가 있다.

## V. 결론

본 연구는 20대의 정상 성인 남자 40명을 대상으로 트레드밀 운동 시 인솔을 적용하지 않은 대조군과 부드러운 인솔, 약간 딱딱한 인솔, 딱딱한 인솔을 적용한 집단에서 앞정강근, 장딴지근 안쪽갈래근, 넙다리곧은근, 넙다리두갈래근의 피로도에 미치는 영향을 알아보기 위해 실험한 결과 인솔과 근육간의 상호작용은 유의한 차이가 없었다( $p>.05$ ). 인솔의 종류에 따른 피로지수는 유의한 감소를 나타냈고( $p<.05$ ), 각 근육의 피로지수는 유의한 차이가 없었다( $p>.05$ ). 사후 검정 결과 대조군과 부드러운 인솔을 적용한 집단 사이에서 유의한 감소를 나타냈다( $p<.05$ ).

이상의 결과로 볼 때 역동적인 운동을 하는 경우 인솔의 착용은 근육의 피로도를 감소시킨다. 따라서 임상에서 환자의 운동이나 훈련 동안 근육의 피로에 의한 영향을 줄이기 위해 적당한 인솔을 처방하는 것이 가능할 것이다.

## 인용문헌

권영국, 변승남. 생체역학개론. 청문각, 1999.  
김동하, 신혜숙. 근육의 기능과 근육피로. 강원대학교 부설체육과학 연구소논문집. 1996;20:235-250.  
김장환, 신현석, 박윤서 등. Prosthetics & Orthotics. 서울, 탐메드오피아. 2004;295-304.  
남기석, 이영희, 이충휘 등. 근전도 스펙트럼 분석을 이

용한 만성 요통 환자의 요부근육과 복부근육의 피로도 분석. 한국전문물리치료학회. 1999;6(2):16-31.  
박래준, 박돈목, 박병규 등. 운동생리학. 서울, 정담, 2000;239-245.  
원종임, 조상현, 이충휘 등. 등속성 운동 시 근전도 주파수 분석에서 얻은 피로지수의 특성. 한국전문물리치료학회지. 2001;8(3):1-26.  
정동식. 달리기의 과학 건강달리기에서 마라톤까지. 국민체육진흥공단 체육과학 연구원. 2002.  
Adams RD, Victor M, Ropper AH. Principle of Neurology. 6th eds. NY, McGraw-Hill Book, 1997.  
Ament W, Bonga GJ, Hof AL, et al. EMG median power frequency in an exhausting exercise. Electromyogr Kinesiol. 1993;3:214-220.  
Andreasson G, Lindenberger U, Renstrom P, et al. Torque developed at simulated sliding between sport shoes and an artificial turf. Int J Sport Biomech. 1986;2:202-209.  
Arthur J, Terry R, Thomas G, et al. Orthopedic and sports physical therapy. Elsevier Science div. 1997;270-273.  
Bigland-Ritchie B, Cafarelli E, Vøllestad NK. Fatigue of submaximal static contractions. Acta Physiol Scand Suppl. 1986;556:137-148.  
Burgess S, Jordan C, Bartlett R. The influence of a small insert, in the footbed of a shoe, upon plantar pressure distribution. Clin Biomech (Bristol, Avon). 1997;12(3):S5-S6.  
Carol AO. Kinesiology the Mechanics & Pathomechanics of Human Movement. Pennsylvania, Lippincott Williams & Wilkins, 2003:795-829.  
Christina KA, White SC, Gilchrist LA. Effect of localized muscle fatigue on vertical ground reaction forces and ankle joint motion during running. Hum Mov Sci. 2001;20(3):257-276.  
Cook SD, Kester MA, Brunet ME, et al. Biomechanics of running shoe performance. Clin Sports Med. 1985;4(4):619-626.  
De Luca CJ. Use of the surface EMG signal for performance evaluation of back muscle. Muscle & Nerve. 1993;16:210-216.

- Dixon SJ, Collop AC, Batt M. Surface effects on ground reaction forces and lower extremity kinematics in running. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(11):1919-1926.
- Dixon SJ, Waterworth C, Smith CV, et al. Biomechanical analysis of running in military boots with new and degraded insoles. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35(3):472-479.
- Ebenbichler GR, Oddsson LIE, Kollmitzer J, et al. Sensory-motor control of the lower back: Implications for rehabilitation. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(11):1889-1898.
- Elliott C. Adolescent overuse sporting injuries: A biomechanical review. *Australian Sports Commission Program.* 1990;23:1-9.
- Ericson MO, Nisell R, Arborelius UP, et al. Muscular activity during ergometer cycling. *Scand J Rehabil Med.* 1985;17(2):53-61.
- Foto JG, Brike JA. Using bench top methods to evaluate dual-density materials used in therapeutic footwear. In: Hennig EM, Stepanyshyn DJ. eds. *Proceeding of the Fourth Symposium on Footwear Biomechanics.* Canada, Canmore, 1999:40-41.
- Gardner LI, Dziados JE, Jones BH, et al. Prevention of lower extremity stress fractures: A controlled trial of a shock absorbent insole. *Am J Public Health.* 1988;78:1563-1567.
- Grat L. Selected topics in surface electromyography for use in the occupational setting. *Expert perspectives.* U.S. Department of health and human services. 1992:70-73.
- Gary C, Hunt MA, Thomas G, et al. *Physical Therapy of the Foot and Ankle.* Toronto, Churchill Livingstone, 1995:207-236.
- Hamill J, Knutzen KM. *Biomechanical Basis of Human Movement* 2nd ed. London, Lippincott Williams & Wilkins, 2003:84-86.
- Hreljac A, Marshall RN, Hume BH. Evaluation of lower extremity overuse injury potential in runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:1635-1641.
- Jacobs SJ, Berson BL. Injuries to runners: A study of entrants to a 10,000 meter race. *Am J Sports Med.* 1986;14:151-155.
- Marshall RN, Hreljac A, Hume PA. Evaluation of lower extremity overuse injury potential in runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(9):1635-1641.
- Messier SP, Pittala KA. Etiologic factors associated with selected running injuries. *Med Sci Sports Exerc.* 1988;20:501-505.
- Migg BM, Nurse MA, Stepanyshyn DJ. Shoe inserts and orthotics for sport and physical activities. *Med Sci Sport Exerc.* 1999;31:421-428.
- Miller JE, Nigg BM, Liu W, et al. Influence of foot, leg and shoe characteristics on subjective comfort. *Foot Ankle Int.* 2000;21(9):759-767.
- Mueller MJ, Maluf KS. Tissue adaptation to physical stress: A proposed "physical stress theory" to guide physical therapist practice, education, and research. *Phys Ther.* 2002;82(4):383-403.
- Nagamachi A, Ikata T, Katoh S, et al. Spectral analysis of erector spinae muscle surface electromyography as an index of exercise performance in maximal treadmill running. *J Med Invest.* 2000;47(1-2):29-35.
- Nigg BM, De Boer RW, Fisher V. A kinematic comparison of overground and treadmill running. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27(1):98-105.
- Nigg BM, Nurse MA, Stepanyshyn DJ, et al. Shoe inserts and orthotics for sport and physical activities. *Med Sci Sport Exerc.* 1999;31:421-428.
- Nyland JA, Shapiro R, Stine RL, et al. Relationship of fatigue run and rapid stop to ground reaction forces, lower extremity kinematics, and muscle activation. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1994;20(3):132-137.
- Paty JG. Running injuries. *Curr Opin Rheumatol.* 1994;6:203-209.
- Schwellnus MP, Jordaan G, Noakes TD. Prevention of common overuse injuries by the use of shock absorbing insoles. A prospective study. *Am J Sports Med.* 1990;18(6):636-641.
- Solomonow M, Zhou BH, Harris M, et al. The ligamento-muscular stabilization system of the spine. *Spine.* 1998;23:2552-2562.
- Swanson SC, Caldwell GE. An integrated bio-



- mechanical analysis of high speed incline and level treadmill running. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(6):1146-1155.
- Tang SFT, Chen CPC, Hong WH, et al. Improvement of gait by using orthotic insoles in patients with heel injury who received reconstructive flap operations. *Am J Phys Med Rehabil.* 2003;82:350-356.
- Tochigi Y. Effect of arch supports on ankle-subtalar complex instability: a biomechanical experimental study. *Foot Ankle Int.* 2003;24(8):634-639.
- Wakeling JM, Pascual SA, Nigg BM, et al. Surface EMG shows distinct populations of muscle activity when measured during sustained submaximal exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2001;86(1):40-47.
- Wen DY, Puffer JC, Schmalzried TP. Lower extremity alignment and risk of overuse injuries in runners. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29:1291-1298.
- Whittle MW. *Gait Analysis: An Introduction.* Oxford Orthopedic Engineering Centre University of Oxford. 1994:74-88.
- Windle CM, Gregory SM, Dixon SJ. The shock attenuation characteristics of four different insoles when worn in a military boot during running and marching. *Gait & Posture.* 1999;9(1):31-37.
- Wong PY, Chen MD, Hong WH, et al. Effects of silicon-insole socks on pressure distribution and shear force of the foot. *Changgeng Yi Xue Za Zhi.* 1998;21(1):20-27.