

펄스자기장이 위팔 두갈래근의 지연성 근육통에 미치는 영향

강선영¹, 박주희¹, 전해선², 이현숙³

¹연세대학교 대학원 물리치료학과, ²연세대학교 보건과학대학 물리치료학과, 보건환경대학원 인간공학치료학과,
³상지대학교 보건과학대학 한방의료공학과

The Influences of Pulsed Electromagnetic Field Treatment Following Experimentally Induced Delayed-Onset Muscle Soreness in Biceps Brachii

Sun-young Kang¹, MSc, PT, Joo-hee Park¹, BHSc, PT, Hye-seon Jeon², PhD, PT, Hyun-sook Lee³, PhD

¹Dept. of Physical Therapy, The Graduate School, Yonsei University,

²Dept. of Physical Therapy, College of Health Science, Yonsei University,

Dept. of Ergonomic Therapy, The Graduate School of Health and Environment, Yonsei University,

³Dept. of Oriental Biomedical Engineering, College of Health Science, Sangji University

Abstract

Delayed onset muscle soreness (DOMS) is a painful condition that arises from exercise-induced muscle damage after unaccustomed physical activities. Various therapeutic interventions have been applied to reduce the intensity and duration of DOMS-related symptoms. Recently, pulsed electromagnetic field (PEMF) intervention has been introduced as an alternative noninvasive treatment for DOMS. This randomized, double-blind, placebo-controlled experiment was conducted to examine the effects of PEMF therapy on DOMS in elbow flexors at 24, 48, and 72 hours after the experimental DOMS induction. Thirty healthy volunteers (23±2.4 yrs, 175±5.7 cm, and 74±7.8 kg) participated in this study. Each was randomly assigned to a PEMF or placebo group. On the first day, DOMS was induced in the elbow flexors by repeated isokinetic motions at low (60 °/s) and fast (120 °/s) speeds in all subjects. Thereafter, the PEMF group received 15-min daily treatment with a PEMF device. The placebo group received sham treatment of the same duration. Overall, PEMF application was more effective than the sham treatment in reducing the physiological symptoms associated with the DOMS including perceived soreness, median frequency, and electromechanical delay of the surface electromyography. In addition, median frequency and isokinetic peak torque of the PEMF group recovered to the pre-DOMS induction level earlier than the placebo group. In conclusion, this study suggests that PEMF can be applied as a new recovery strategy in reducing DOMS symptoms. Further experiments are required to examine the effect of the PEMF treatment on different types of exercise conditions and to determine the optimal treatment dosage and duration in a real clinical setting.

Key Words: Biceps Brachii; Delayed onset muscle soreness; Pulsed electromagnetic field.

Corresponding author: Hyun-sook Lee hslee@sangji.ac.kr

본 연구는 한국연구재단 2012년 이공분야기초 연구지원사업의 2차년도 기본 연구 지원 사업 (NRF-2011-0025231) 및 2012년도 상지대학교 교내연구비에 의해 진행되었음.

I. 서론

지연성 근육통(delayed onset muscle soreness)이란 익숙하지 않은 신체적 운동이나 활동 이후 흔히 나타나는 통증으로, 일반적으로 근육의 뻣뻣한 느낌과 근력 감소 및 관절 가동 범위의 감소를 유발하여 일상생활에 불편을 초래한다(Cleak과 Estons, 1992). 이러한 근육통은 운동 이후 24시간 이내에 발생되어, 48시간에서 72시간 사이에 최대 증상이 보이고, 5일에서 7일 사이에 사라지는 특징을 가진다(Kisner와 Colby, 2007). 지연성 근육통은 근 섬유들에 대한 미세 손상으로, 순차적으로 히스타민, 브래디키닌, 프로스타글란딘과 같은 화합 물질들이 유리되고, 근육 내 투과도가 증가하여 발생되며, 미세손상으로 유발된 염증반응으로 인하여 통증과 부종 및 대식세포의 증식이 나타난다(Clarkson과 Hubal, 2002).

지연성 근육통은 근육 내 피로가 나타나는 대표적인 현상으로, 이전 연구들은 지연성 근육통의 발생정도를 측정하기 위하여 중앙주파수 값을 산출하여 근육의 피로도를 확인하였다. 근육이 피로하면 표면 근전도로 전달되는 근신호의 고주파수대는 감소하고 저주파수대는 증가하여, 주파수 스펙트럼이 저주파수대로 이동한다(De Luca, 1984; Gerdle 등, 1989). 이러한 피로의 발생과 주파수 스펙트럼의 변화는 젖산, K^+ , 그리고 H^+ 의 등의 축적으로 인한 근 활동전압의 전도속도 감소와 운동단위의 발화율(firing rate)의 감소와 같은 생리학적 기전으로 설명될 수 있다(Gerdle와 Karlsson, 1994; Mizrahi 등, 1997).

최근 근수축의 생리학적 입장에서, Howatson(2010)은 지연성 근육통에 나타나는 상승된 전기역학적 지연(electromechanical delay)값을 소개하였으며, 지연성 근육통의 발생정도의 중요한 측정변수로써 사용하도록 제안하였다. 전기역학적 지연이란 근수축에 의한 전기적 근 활성화와 토크(torque)의 개시 시간 사이의 시간 간격을 말하며(Li와 Baum, 2004), 이러한 현상은 근수축의 개시에서 직렬탄성성분(series elastic component)을 신장시키는데 필요한 시간, T-세관계(T-tubulus system)에서 활동전압의 전도, 근형질세망으로부터 칼슘의 방출, 그리고 액틴과 미오신 필라멘트간의 십자교(cross bridge) 형성 등의 의한 흥분수축과 연관되어 진다(Nordez 등, 2009). 특히 피로에 기인한 근내의 젖산축적은 근 섬유의 전도 속도를 감소시켜 전기역학적 지연

과 깊은 연관성이 있다(Horita와 Ishiko, 1987). 전기역학적 지연의 측정은 시냅스 후 과정 및 근수축시 운동단위(motor unit)의 동원패턴에 대한 중요한 정보를 제공해 주며, 비침습적 생리학적 측정 방법이라는 점에서 다양한 연구에서 사용되고 있다.

지연성 근육통 발생 이후, 근육이 최대 기능을 빠르게 회복시키고, 증상을 감소시키기 위하여 냉치료, 지속적 압박, 초음파, 전기자극, 스트레칭, 마사지, 약물치료 등 다양한 치료중재 방법들이 소개되어 왔다. Cheung(2003) 등과 Connolly(2003)등의 지연성 근육통에 대한 고찰 논문에 따르면, 약물치료는 적용 시간과 용량에 의해 다양한 결과 값이 나타나며, 마사지 또한 적용되는 방법이나 시간에 따라 다양한 영향을 미친다. 냉치료와 스트레칭, 초음파, 전기자극은 통증을 비롯한 관련된 증상 완화에 긍정적인 영향을 보이지 못하였으며, 운동이 통증 감소를 위한 가장 좋은 방법으로 소개되지만, 그 또한 일시적인 진통 효과만 나타난다. 최근 지연성 근육통의 물리치료 중재에 대한 메타분석 연구에서는, 냉치료, 스트레칭, 마사지, 저강도의 운동에 대한 35개의 논문들을 비교 분석하였다. 연구의 결과로는 오직 마사지만 지연성 근육통과 관련된 증상을 줄이는데 조금 도움이 되었을 뿐, 다른 중재 방법들은 임상적인 효과를 보지 못하였다(Torres 등, 2012). 이처럼 지연성 근육통을 치료하기 위해 많은 연구들이 선행되어 오고 있지만, 아직 뚜렷한 효과를 보이는 치료는 보고되어 있지 않아, 다른 치료 중재방법들에 대한 연구가 필요한 실정이다.

펄스자기장은 일반적으로 정형외과에서 세포의 회복을 자극시켜 결합이 안 되는 골절 치료를 위해 사용되고 있으며, 많은 이전 연구들에서 펄스 자기장은 세포막 염증 반응의 억제와 연부조직의 상처 치유 및 혈류량 증가의 효과가 있다고 보고하고 있다(Fernandez 등, 2007; Fimi 등, 2005). 또한 관절염, 당뇨병성 말초신경병(diabetic neuropathy), 섬유근통(fibromyalgia), 골절, 천장관절 통증, 수술 후 통증에 이르기 까지 펄스 자기장의 진통효과에 대한 임상적 근거들이 많이 제시되고 있다(Graak 등, 2009; Shupak 등, 2006; Vavken 등, 2009). 지연성 근육통에 대한 펄스 자기장 치료의 효과를 보기 위하여 최근 Rasmussen 등(2013)은 마라톤 완주 이후 지연성 근육통이 야기된 마라톤 선수들에게 5일 동안 지속적으로 자기장 치료를 받게 하여 대조군보다 긍정적인 통증완화 효과를 보였다. 반면에 Walsh

등(2010)은 실험적으로 야기된 근육통에 최대 회전력과 통증 정도를 측정하였으나, 자기장 치료의 효과를 보지 못하였다. 이처럼 지연성 근육통에 대한 펄스 자기장의 치료효과는 명확하게 밝혀지지 않았으며, 통증 및 최대 회전력 측정에 국한되어, 다양한 측정변수를 사용하여 지연성 근육통에 대한 펄스 자기장의 치료 효과를 살펴본 연구가 부족한 실정이다. 그러므로 본 연구는 통증 척도, 근전도의 중앙주파수와 전기역학적 지연 및 등속성 최대 회전력의 다양한 측정 변수들을 사용하여, 위팔 두갈래근에 인위적인 유도된 지연성 근육통에 대한 펄스 자기장 치료의 효과를 알아보기 위해 시행되었다. 본 연구의 가설로는 펄스 자기장 치료를 받은 그룹이 대조군보다 지연성 근육통의 관련된 증상들이 덜 야기될 것이라고 설정하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상자

본 연구 자발적인 동의로 실험에 참여한 연세대학교에 재학 중인 건강한 성인 남자 30명이 참여하였다. 연구 대상자는 실험 전 연구의 목적과 방법에 대하여 충분한 설명을 듣고 연세대학교 인체 심의 위원회에 승인된 동의서를 작성하였다. 선정 조건으로 최근 3개월 동안 근력운동을 하지 않은 자, 심혈관계 문제가 없는 자, 상지 관절에 움직임 범위 제한이 없는 자, 6개월 이내에 상지 통증 혹은 정형외과적인 문제가 없는 자로 하였다. 연구 대상자들은 난수표를 이용하여 무작위로 실험군과 대조군에 각각 15명씩 배정되었으며, 실험군은 실제 펄스자기장이 인가되는 치료기와 대조군은 실제 펄스자기장이 인가되지 않은 같은 모형의 모제품을 사용하여 4일간 치료를 받았다. 본 실험 기간 동안 연구대상자에게 아스피린이나 항염증 약물을 복용하지 않도록 교육하였으며, 또한 근력강화운동이나 신장운동 및 마사지를 임의로 수행하지 않도록 교육하였다.

2. 실험과정

가. 지연성 근육통 유발 방법

지연성 근육통은 비 우세손인 왼손의 위팔 두갈래근에서 등속성 운동 장비 Biodex pro system(Biodex

Medical Systems, Inc., Shirley, NY, USA)을 사용하여 유발되었다. 각각의 대상자 마다 운동을 시작하기 전 팔꿈치가 완전히 펴진 자세에서 영점 조절을 하였으며, 운동은 30° 에서 120°까지 반복 운동을 하도록 설정하였다. 모든 대상자는 등속성 장비에 대항하여 최대 원심성, 구심성 수의적 수축을 반복하도록 지시되고, 느린 속도(60 °/s)와 빠른 속도(120 °/s)의 두 가지 운동을 수행하였다. 각 대상자는 처음에 수행한 등속성 최대 회전력의 70% 이하로 떨어지는 시점까지 반복 운동을 하였으며(Vinck, 2006), 각 운동마다 최소 20번 반복할 수 있도록 같은 연구자가 보조를 해주며, 피드백을 제공하였다. 충분한 휴식을 제공하기 위해서 두 가지 운동 사이에는 10분이 주어졌으며, 본 연구의 지연성 근육통 유발 방법은 이전 연구들과 예비 실험을 기반으로 구성되었다(Vinck, 2006; Walsh, 2010).

나. 실험방법

본 연구는 지연성 근육통 유발 이전을 기준으로 4일 동안(기초선, 24, 48, 72시간 후) 측정되었다. 각 시점마다 모든 연구 대상자들은 등속성 운동 장비를 이용하여 3번의 60 °/s 등속성 최대 수축운동을 하였으며, 표면 근전도 값이 동시 수집되었다. 측정 시 모든 대상자는 등속성 장비 기계의 시각 피드백이 주어졌으며, 이는 대상자에게 최대 근수축을 할 수 있는 동기부여 효과가 있다(Baltzopoulos 등, 1991).

다. 펄스 자기장 치료

펄스 자기장(pulsed-electromagnetic field) 치료는 배정된 그룹에 따라 다르게 처치되었다. 대상자는 매 시점마다 측정을 마친 후, 실험군은 실제 펄스자기장이 인가되는 치료기와 대조군은 실제 펄스자기장이 인가되지 않은 모제품을 사용하여 15분간 처치되었다. 본 펄스자기장 제품은 (주)누가의료기기의 누가한방기술연구소에서 개발한 자기장 자극기 OM-100 시제품으로, 특허출원 및 기술이전으로 등록되어 있으며, 이전 혈류개선 효과 및 적혈구의 형태학적 변화, 혈관탄성도 등 연구들에 의해 효과성이 확인된 제품이다(Lee, 2011; Lee, 2012). 펄스 자기장은 대상자의 가장 통증이 심한 부위 위 2 cm 거리에서 수직으로 인가되었으며, 펄스 자기장에 사용된 코일은 10 turn, 12×4.5 cm 타원형과 자기장 세기는 .48 T, transition time은 .102 ms, 자극 주파수는 1Hz로 설정하였다.

3. 측정변수

가. 시각적 통증척도(visual analog scale)

치료 전 일상생활 활동 중에 느꼈던 통증의 정도를 측정하기 위해 시각적 통증척도를 이용하였다. 눈금이 표시되지 않은 10 cm의 수평자를 이용하였으며, 자의 좌측 시작점은 통증이 없는 아주 편안한 상태를 나타내고, 오른쪽 끝은 가장 극심한 통증으로 정의된다. 대상자에게 스스로 자신의 통증 정도를 직선 위에 표시하도록 한 후 좌측 끝부분으로부터의 거리를 측정하여 통증 정도를 정량화하였다. 시각적 통증척도는 임상 현장에서 효율적으로 통증 정도와 변화를 평가할 수 있는 신뢰성(ICC=.99)과 타당성 있는 평가 도구이다(Gallagher 등, 2002).

나. 중앙주파수(median frequency)

위팔두갈래근(biceps brachii)에 대한 중앙주파수 값을 수집을 위하여 Noraxon Telemetry 2400T(Noraxon Inc., Scottsdale, AZ, USA)을 사용하였으며, 피부저항을 감소시키기 위하여 제모 및 알코올 소독 후 위팔두갈래근에 표면 전극을 부착하였다. 근전도 전극 위치는 팔꿈치를 90도 굴곡 시킨 상태에서 팔꿈치 앞쪽 주름과 건본(acromion) 사이를 삼등분 하였을 때 원위 1/3 지점의 근복 위치에 2 cm 간격을 두고 근 섬유 방향과 평행하게 부착하였다(Cram 등, 1998). 표면 근전도 신호의 표본추출률은 1000 Hz로 설정하였고, 주파수 대역폭(bandwidth)은 Bagnoli EMG System의 측정 주파수 대역 필터인 20~450 Hz와 60 Hz 노치 필터(notch filter)를 사용하였다. 모든 근전도 신호는 Noraxon 소프트웨어 Myoresearch 1.08을 통해 디지털 처리되었으며, 소프트웨어의 Fast Fourier transformation 방식을 이용하여 중앙주파수 값이 산출 되었다. 각 시점별 측정값들은 기초선을 기준으로 비율(ratio) 값으로 나타내었다.

다. 전기역학적 지연(electromechanical delay)

전기역학적 지연이란 근수축에 의한 전기적 근 활성화와 토크(torque)의 개시 시간 사이의 차이를 말한다(Li와 Baum, 2004). 토크의 시작 시간과 표면 근전도 활성화도의 근수축 개시시간을 정확하게 결정하기 위해, 모든 측정 시 등속성 운동 장비의 아날로그 신호(토크)는 근전도 소프트웨어의 디지털 신호로 전환되어 동시 수집되었다. 개시시간은 준비 기간의 평균 보다 2 표준편차

이상 되는 시점으로 설정되었으며, 이 방법의 신뢰도는 공변량 < 6.5%이다(Howatson 등, 2009). 전기역학적 지연 값은 토크의 개시 시간에서 근활성도의 개시 시간의 차로 계산 되었으며, 각 시점마다 기초선의 비율 값으로 나타내었다.

라. 등속성 최대 회전력(isokinetic peak torque)

등속성 최대 회전력의 측정을 위해 등속성 운동 장비 Biodex pro system(Biodex Medical Systems, Inc., Shirley, NY, USA)이 사용되었다. 대상자는 등속성 장비의 매뉴얼에 따라 의자에 앉은 후, 다른 보상작용의 움직임을 방지하기 위하여 어깨와 가슴, 및 골반에 벨트를 사용하여 고정하였다. 측정 전, 토크 값에 영향을 줄 수 있는 중력의 효과를 배제하기 위해서 지면과 평행한 지점에서 대상자의 팔의 무게를 측정하였다(Gleeson과 Mercer, 1996). 등속성 장비는 자동적으로 대상자의 팔의 중력 값을 제외한 계산된 값을 산출하며, 30~120° 범위에서 3번의 60 %/s 등속성 최대 수축 운동 중 최대 회전력으로, 각 시점마다 기초선의 비율 값으로 나타내었다.

4. 분석방법

본 연구의 종속 변수는 시각적 상사척도를 이용한 통증척도와 등속성 최대 회전력 및 근전도의 중앙주파수와 전기역학적 지연의 차이로 설정하였다. 모든 종속 변수들은 기초선을 기준으로 비율(ratio) 값으로 나타내었으며, 일반적인 특성은 평균과 표준편차로 표시되었다. 그룹 간 대상자의 일반적인 특성의 차이와 4일 동안 각각 측정된 종속 변수들의 차이를 알아보기 위하여 각 시간마다 독립 t-검정(independent t-test)을 실시하였으며, 그룹 간 시간에 따른 종속변수들의 변화를 비교하기 위하여 반복측정분산분석(ons-way repeated ANOVA)을 시행하였고, 사후검정으로는 본페로니(Bonferroni) 수정법을 사용하였다. 수집 된 자료에 대한 통계 분석은 SPSS ver. 18.0 프로그램을 사용하였고, 통계학적 유의수준은 .05로 하였다.

III. 결과

1. 대상자의 일반적인 특성

Table 1은 연구대상자들의 일반적 특성을 보여주고

Table 1. General characteristics of the subjects

(N=30)

	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)
PEMF ^a group (n ₁ =15)	22.4±2.1 ^b	174.0±6.9	73.0±7.5
Placebo group (n ₂ =15)	23.8±2.7	176.0±4.6	75.0±8.1
p	.910	.409	.450

^apulsed-electromagnetic field, ^bmean±standard deviation.

있으며, 집단 간 나이, 신장, 체중은 유의한 차이가 나타나지 않았다(p>.05).

간 중앙주파수 값은 근육통 유발 48시간 이후에 대조군이 치료군보다 유의하게 낮았다(p=.038)(Figure 1A).

2. 중앙주파수

중앙주파수는 두 그룹 모두 근육통 유발 이후 감소하였으며, 매 시점마다 치료군의 중앙주파수 값이 대조군보다 덜 감소하였다. 기초선과 매 시점을 비교하였을 경우, 치료군은 어느 시점에서든 유의한 차이가 나타나지 않았으며, 대조군은 48시간 후와 72시간 후 기초선보다 유의하게 감소하였다(Table 2). 또한 그룹

3. 전기역학적 지연의 차이

전기역학적 지연의 차이는 두 그룹 모두 근육통 유발 이후 크게 증가하였으며, 24시간 후 감소 경향을 보였다. 24시간, 48시간 후 대조군의 전기역학적 지연의 값은 치료군보다 크게 증가 하였지만, 72시간 후에 비슷해지는 경향을 보였다. 두 그룹 간의차이는 24시간

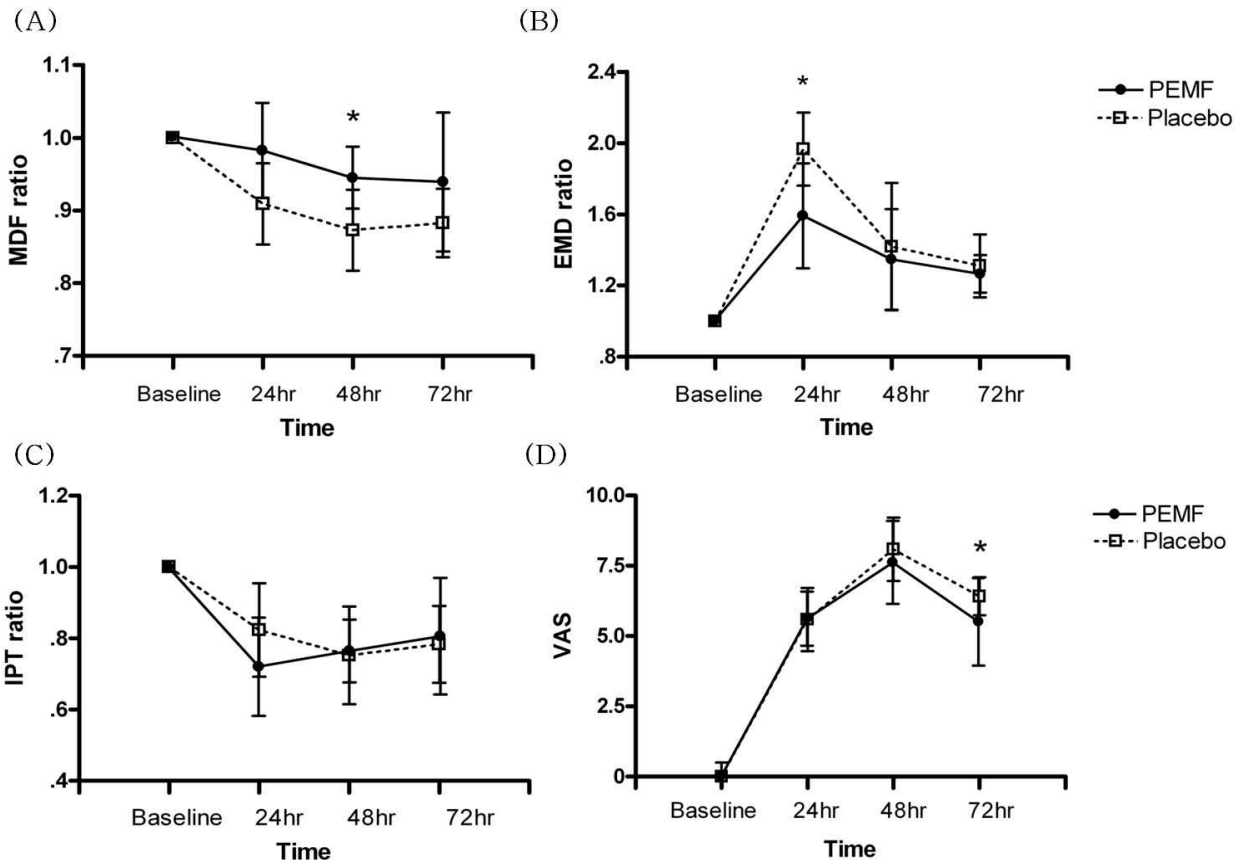


Figure 1. Group comparisons over time (PEMF: pulsed-electromagnetic field, MDF ratio: median frequency ratio relative to baseline, EMD: electromechanical delay ratio relative to baseline, IPT: isokinetic peak torque ratio relative to baseline, VAS: visual analog scale, *p<.05).

후에 대조군이 치료군보다 유의하게 높은 값을 보였으며($p=.023$)(Figure 1B), 기초선과 비교한 결과 두 그룹 모두 24시간 후, 48시간 후, 72시간 후에 유의한 증가하였다(Table 2).

4. 등속성 최대 회전력

등속성 최대 회전력은 두 그룹 모두 지연성 근육통 유발 이후 감소하였으며, 치료군은 24시간 후 증가 추세를 보였고, 대조군은 48시간 후부터 증가 추세를 보였다. 치료군은 24시간 후 대조군 보다 최대회전력이 더 낮아졌지만, 72시간 후 대조군 보다 조금 높아진 경향을 보였으며, 측정기간 내 그룹 간의 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다(Figure 1C). 기초선과 비교한 결과는 치료군은 24시간 후와 48시간 후에서 유의하게 감소하였으며, 대조군은 24시간 후, 48시간 후, 72시간 후에서 유의한 감소를 보였다(Table 2).

5. 통증척도

통증은 근육통 유발 이후부터 두 그룹 모두 증가하였으며, 72시간 후 대조군이 치료군 보다 유의하게 높은 값이 나타났다($p=.043$)(Figure 1D). 또한 기초선과

비교한 결과, 두 그룹 모두 24시간 후, 48시간 후, 72시간 후에서 유의하게 증가하였다(Table 2).

IV. 고찰

본 연구는 실험적으로 유도된 지연성 근육통의 중재 방법으로 펄스 자기장 치료를 적용하여 24, 48, 72시간 이후의 통증 척도와 등속성 최대 회전력 및 근전도의 중앙주파수와 전기역학적 지연에 변화를 알아보기 위하여 고안되었다. 본 연구의 결과 72시간 동안 두 그룹의 모든 종속변수는 비슷한 변화 양상을 보였으며, 증상의 심각성 정도는 치료군이 대조군 보다 적은 양상을 보였다. 통증척도 결과 값을 살펴보면 두 그룹 모두 24시간 후부터 기초선과 유의하게 증가하였으며, 이는 근육통을 야기하기 위해 사용된 등속성 운동이 24시간 이내 근육통을 유발하기에 충분하였음을 말한다. 또한 두 그룹 모두 운동이후 48시간에서 최대 통증 증상이 보이는 점에서 이전 연구와 일치하며(Kisner와 Colby, 2007), 72시간 후에 치료군이 대조군보다 유의하게 작은 통증 척도를 보인 점은 133명의 마라톤 선수들에게

Table 2. Comparison of changes in all outcome measures across time (24, 48, 72 hr after exercise)

		24 hr	48 hr	72 hr	
MDF ^a	PEMF ^e group	mean difference ^f	.012	.051	.056
		p	1.000	.721	.093
	Placebo group	mean difference	.105	.160	.154
		p	.115	.037*	.041*
EMD ^b	PEMF group	mean difference	-.547	-.359	-.294
		p	.016*	.008*	.038*
	Placebo group	mean difference	-.987	-.418	-.310
		p	.010*	<.001*	<.001*
IPT ^c	PEMF group	mean difference	.306	.231	.166
		p	.001*	<.001*	.141
	Placebo group	mean difference	.180	.264	.216
		p	.018*	.001*	.003*
VAS ^d	PEMF group	mean difference	-6.222	-8.222	-5.833
		p	<.001*	<.001*	.001*
	Placebo group	mean difference	-5.889	-8.333	-6.667
		p	<.001*	<.001*	<.001*

^amedian frequency, ^belectromechanical delay, ^cisokinetic peak torque, ^dvisual analog scale, ^epulsed electromagnetic field, ^f1-ratio relative to baseline at each time, * $p<.05$.

자기장 치료를 적용 후 통증감소의 연구결과와 일치한다(Rasmussen 등, 2013). 자기장 노출은 인간의 통증 지각 및 통증과 관련된 체성감각의 전기적 유발(pain-related somatosensory evoked potentials) 감소에 도움을 준다는 이전 연구와 같이(Sartucci, 1997), 본 연구의 결과를 통해서 자기장 치료가 지연성 근육통증의 완화에 긍정적인 효과가 있으므로 알 수 있다.

자기장이 인체에 미치는 영향은 오랫동안 연구되어 왔으며, 특히 18세기 후반부터 본격적으로 관심을 가지기 시작하여 오늘날 많은 의료기기에 이용되고 있다. 본 연구는 자기장의 많은 자극 방법 중 펄스자기장을 중심으로 연구하였다. 펄스자기장은 일반적으로 정형외과에서 결합이 안 되는 골절 치료를 위해서 사용되어진다. 뼈 치료의 경우, 각 펄스가 세포의 회복을 자극시키는 전기적 신호를 유도하여 상처 입은 조직을 통과하여 연속적으로 전기에너지를 유도 공급할 수 있다고 알려진다(Fini 등, 2005). 또한 이전 많은 연구들은 펄스 자기장 자극의 혈류량을 증가, 세포막 염증 반응을 억제, 부드러운 조직의 상처 치유 촉진 및 통증 완화에 대한 효과를 증명하고 있다(Fernandez 등, 2007). 펄스 자기장 노출 이후 쥐의 거고근의 소동맥 지름 변화를 살펴본 Smith(2004) 연구의 따르면, 펄스 자기장의 2분 노출 결과 9% 거고근의 소동맥 지름이 증가됨을 보였으며, 또한 펄스 자기장의 혈류량 증가 효과를 조사한 Mayrovitz와 Larsen(1992)의 따르면 20분 동안 자기장의 노출된 팔은 노출되지 않은 팔보다 혈액량의 29%가 증가하고, 자기장 노출 시작 5분 후에 현저한 체온의 상승이 나타났다.

지연성 근육통이 발생하는 기전은 많은 연구들에 의해 여러 가지 가설로 설명되어오고 있으나, 아직도 명확히 제시되고 있지 않아, 펄스 자기장이 지연성 근육통에 미치는 기전에 대해 설명하기는 힘들다. 그러나 일반적으로 지연성 근육통은 근 섬유들에 대한 미세 손상으로, 순차적으로 히스타민, 브래디키닌, 프로스타글란딘과 같은 화학 물질들이 유리됨과 동시에 근육 내 투과도가 증가하여 발생되며, 미세손상으로 유발된 염증반응으로 인하여 통증과 부종 및 대식세포의 증식이 나타난다고 말한다(Clarkson과 Hubal, 2002). 이전에 언급한 것과 같이, 펄스 자기장은 근육 내 혈류량의 증가 촉진과 세포막 염증 반응 억제에 대한 증명되어 왔다. 지연성 근육통이 야기 된 근육에 노출된 펄스 자기장은 혈류량을 증가시켜 축적된 젖산과 화학 물질들을 빠르

게 유리시키는데 도움을 주었을 것이며, 염증 반응을 억제 시켜 통증 및 부종을 감소 시켰을 것으로 고려된다.

본 연구에서의 중앙주파수 결과 값으로 근육통 유발 48시간 이후에 대조군이 치료군 보다 유의하게 작았으며, 시점 별 기초선과 비교했을 때 치료군은 24시간, 48시간, 72시간 후 어느 시점에서든 유의한 차이가 나타나지 않았지만, 대조군은 48시간 후와 72시간 후에 유의하게 감소하였다. 또한 본 연구의 전기역학적 지연 결과 값을 살펴보면 이전 연구의 결과와 같이 지연성 근육통 발생 이후 두 그룹 모두 전기역학적 지연은 증가하였으며(Howatson, 2010), 24시간 후에는 대조군이 치료군보다 유의한 증가를 보였다. 24시간과 48시간 후 치료군과 대조군의 유의한 차이와 시점 별 비교 결과, 치료군이 대조군보다 빠르게 회복된 이번 연구의 결과 값으로 보아 펄스 자기장 치료가 젖산축적으로 인한 근 활동전압의 전도속도 감소와 운동단위의 발화율의 감소를 억제하여, 중앙주파수의 감소와 전기역학적 지연의 증가를 예방하였음을 알 수 있으며, 이는 펄스 자기장 치료가 지연성 근육통의 회복에 효과적으로 도움을 줌을 의미한다.

본 연구는 기능적인 운동 수행 시 발생하는 피로도와 최대 회전력의 변화를 관찰하기 위하여, 대상자의 근수축력에 따라 저항을 조절하고, 역동적 근력과 지구력을 정확히 측정할 수 있는 방법 중의 하나인 등속성 운동 측정 방법을 사용하였다(Kisner와 Colby, 2007). 본 연구의 등속성 최대 회전력 값의 시점 별 기초선과 비교한 차이는 치료군은 24시간 후와 48시간 후에서 유의한 차이를 보였으며, 대조군은 24시간 후, 48시간 후, 72시간 후에서 유의한 차이를 보였다. 비록 두 그룹간의 유의한 차이는 보이지 못하였지만, 72시간 후 기초선과 유의하게 차이나지 않을 만큼 치료군의 회복 결과를 비추어, 자기장 치료가 등속성 최대 회전력 값의 회복에도 긍정적인 영향을 미친 것으로 해석할 수 있다. 하지만 72시간 내의 그룹간의 유의한 차이가 나지 않은 점은 이전 연구의 결과와 비슷하며(Walsh, 2010), 이는 자기장 치료가 기능적인 수행 능력에는 긍정적인 영향을 미치지 못하다고도 해석할 수 있다.

본 연구는 근육의 피로도나 스냅스 후 과정 등을 유추할 수 있는 측정 방법인 근전도의 중앙주파수 값과 전기역학적 지연값을 이용하여 지연성 근육통에 대한 펄스 자기장 치료의 생리학적 측면의 변화를 살펴보도록 고안하였다. 또한 기능적인 측면으로 등속성 최대

회전력의 변화 값을 살펴보았으며, 시간당 대상자가 느끼는 통증 척도를 측정하였다. 각 측정방법들은 신뢰도가 높으나, 실제 펄스 자기장 치료가 어떠한 기전으로 근육에 영향을 미치는지에 대한 생리학적 추후 연구가 필요하다. 본 연구는 몇 가지의 제한점을 가지고 있다. 먼저 본 연구는 특정 근육인 위팔 두갈래근 측정에 한정하여 적은 수의 남자 대상자에게 수행되어, 본 연구의 결과를 일반화 시키는 데에는 다소 어려움이 따를 수 있다. 또한 본 연구는 지연성 근육통 발생 이후 72시간의 기간 동안만 관찰되어, 이후 근육의 최대 기능 회복단계 까지 관찰되지 못하였다. 추후 장기간 동안, 실제 환자에게 적용하여 임상적인 회복 과정을 살펴보는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구는 건강한 성인 30명을 대상으로 위팔 두갈래근에 지연성 근육통을 유발 시킨 후 펄스 자기장 치료를 적용하여, 24, 48, 72시간 이후의 통증척도와 등속성 최대 회전력 및 근전도의 중앙주파수와 전기 역학적 지연 차이에 미치는 효과를 알아보았다. 두 그룹을 비교한 결과 중앙주파수, 전기 역학적 지연 차이 및 통증척도에서 두 그룹간의 유의한 차이가 나타났으며, 기초선과 시점 별 비교에서는 중앙주파수와 등속성 최대 회전력에서 빠른 회복을 보였다. 이는 자기장 치료가 지연성 근육통의 강도를 약화시키며, 회복을 촉진시키는 데 긍정적인 영향을 줄 수 있다고 해석할 수 있다. 그러므로 본 연구는 지연성 근육통에 대한 펄스 자기장 치료의 긍정적인 효과를 제시하며, 향후 실제 지연성 근육통에 발생하는 자기장 치료의 생리학적 기전에 대한 연구와 실제 환자에게 치료가 적용된 장기간 연구가 지속적으로 시행되어야 할 것이다.

References

Baltzopoulos V, Williams JG, Brodie DA. Sources of error in isokinetic dynamometry: Effects of visual feedback on maximum torque. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1991;13(3):138-142.
Cheung K, Hume P, Maxwell L. Delayed onset mus-

cle soreness: Treatment strategies and performance factors. *Sports Med.* 2003;33(2):145-164.
Clarkson PM, Hubal MJ. Exercise-induced muscle damage in humans. *Am J Phys Med Rehabil.* 2002;81(11 suppl):S52-69.
Cleak MJ, Eston RG. Muscle soreness, swelling, stiffness and strength loss after intense eccentric exercise. *Br J Sports Med.* 1992;26(4):267-272.
Connolly DA, Sayers SP, McHugh MP. Treatment and prevention of delayed onset muscle soreness. *J Strength Cond Res.* 2003;17(1):197-208.
Cram JR, Kasman GS, Holtz J. *Introduce to Surface Electromyography.* 1st ed. Maryland, Aspen Publisher, 1998:304-305.
De Luca CJ. Myoelectrical manifestations of localized muscular fatigue in humans. *Crit Rev Biomed Eng.* 1984;11(4):251-279.
Fernandez MI, Watson PJ, Rowbotham DJ. Effect of pulsed magnetic field therapy on pain reported by human volunteers in a laboratory model of acute pain. *Br J Anaesth.* 2007;99(2):266-269.
Fini M, Giavaresi G, Carpi A, et al. Effects of pulsed electromagnetic fields on articular hyaline cartilage: Review of experimental and clinical studies. *Biomed Pharmacother.* 2005;59(7):388-394.
Gallagher EJ, Bijur PE, Latimer C, et al. Reliability and validity of a visual analog scale for acute abdominal pain in the ED. *Am J Emerg Med.* 2002;20(4):287-290.
Gerdle B, Elert J, Henriksson-Larsén K. Muscular fatigue during repeated isokinetic shoulder forward flexions in young females. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1989;58(6):666-673.
Gerdle B, Karlsson S. The mean frequency of the EMG of the knee extensors is torque dependent both in the unfatigued and the fatigued states. *Clin Physiol.* 1994;14(4):419-432.
Gleeson NP, Mercer TH. The utility of isokinetic dynamometry in the assessment of human muscle function. *Sports Med.* 1996;21(1):18-34.
Graak V, Chaudhary S, Bal BS, et al. Evaluation of the efficacy of pulsed electromagnetic field in

- the management of patients with diabetic polyneuropathy. *Int J Diabetes Dev Ctries.* 2009;29(2):56-61.
- Horita T, Ishiko T. Relationships between muscle lactate accumulation and surface EMG activities during isokinetic contractions in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1987;56(1):18-23.
- Howatson G. The impact of damaging exercise on electromechanical delay in biceps brachii. *J Electromyogr Kinesiol.* 2010;20(3):477-481.
- Howatson G, Glaister M, Brouner J, et al. The reliability of electromechanical delay and torque during isometric and concentric isokinetic contractions. *J Electromyogr Kinesiol.* 2009;19(5):975-979.
- Kisner C, Colby LA. *Therapeutic Exercise: Foundations and techniques.* 5th ed. Philadelphia, PA, F.A. Davis Co., 2007:147-229.
- Lee JY. *Studies of bio-information by stimulus of pulsed electromagnetic field.* Sangji University, Doctoral Dissertation. 2012.
- Lee HS. Effect of pulse magnetic field stimulus on blood flow using digital infrared thermal imaging. *Journal of Magnetics.* 2011;21(5):180-184.
- Li L, Baum BS. Electromechanical delay estimated by using electromyography during cycling at different pedaling frequencies. *J Electromyogr Kinesiol.* 2004;14(6):647-652.
- Mayrovitz HN, Larsen PB. Effects of pulsed electromagnetic fields on skin microvascular blood perfusion. *Wounds.* 1992;4(5):197-202.
- Mizrahi J, Levin O, Aviram A, et al. Muscle fatigue in interrupted stimulation: Effect of partial recovery on force and EMG dynamics. *J Electromyogr Kinesiol.* 1997;7(1):51-65.
- Nordez A, Gallot T, Catheline S, et al. Electromechanical delay revisited using very high frame rate ultrasound. *J Appl Physiol.* 2009;106(6):1970-1975.
- Rasmussen C, Rathleff MS, Knudsen C, et al. Pulsed electromagnetic field therapy reduces delayed onset muscle soreness in marathon runners. A double-blind randomized placebo-controlled study. 13th EFORT. 2013:1-18.
- Sartucci F, Bonfiglio L, Del Seppia C, et al. Changes in pain perception and pain-related somatosensory evoked potentials in humans produced by exposure to oscillating magnetic fields. *Brain research.* 1997;769(2):362-366.
- Shupak NM, McKay JC, Nielson WR, et al. Exposure to a specific pulsed low-frequency magnetic field: A double-blind placebo-controlled study of effects on pain ratings in rheumatoid arthritis and fibromyalgia patients. *Pain Res Manag.* 2006;11(2):85-90.
- Smith T, Wong-Gibbons D, Maultsby J. Microcirculatory effects of pulsed electromagnetic fields. *J Orthop Res.* 2004;22:80-84.
- Torres R, Ribeiro F, Alberto Duarte J, et al. Evidence of the physiotherapeutic interventions used currently after exercise-induced muscle damage: Systematic review and meta-analysis. *Phys Ther Sport.* 2012;13(2):101-114.
- Vavken P, Arrich F, Schuhfried O, et al. Effectiveness of pulsed electromagnetic field therapy in the management of osteoarthritis of the knee: A meta-analysis of randomized controlled trials. *J Rehabil Med.* 2009;41(6):406-411.
- Vinck E, Cagnie B, Coorevits P, et al. Pain reduction by infrared light-emitting diode irradiation: A pilot study on experimentally induced delayed-onset muscle soreness in humans. *Lasers in medical science.* 2006;21(1):11-18.
- Walsh J, Simonds L, Tiidus P. Pulsed-magnetic field therapy does not influence indices of muscle damage following eccentric exercise: A preliminary study. *Medicina Sportiva.* 2010;14(4):199-203.

This article was received March 3, 2013, was reviewed March 3, 2013, and was accepted May 1, 2013.