

대한물리치료과학회지

Journal of Korean Physical Therapy Science
2021. 12. Vol. 28, No.3, pp. 30-41

원심성 운동 후 극저온 냉각치료 적용이 운동유발성 근육 손상 후 통증, CK 및 LDH에 미치는 효과

신성필¹ · 김하늘² · 전재근¹

¹한려대학교 물리치료학과 · ²서울 응암 리드힐병원 물리치료실

The effect of Whole-body cryotherapy intervention after an eccentric exercise on PPT, CK and LDH of EIMD

Sung Phil Shin¹, M.Sc., P.T. · Ha Neul Kim², M.Sc., P.T. · Jae Geun Jeon¹, Ph.D., P.T.

¹Dept. of Physical Therapy, Hanlyo University

²Dept. of Physical Therapy, Leadheals Hospital

Abstract

Background: The purpose of this study was to investigate the effects of WBC on the pressure pain threshold, CK and LDH after exercise-induced muscle injury.

Design: A Randomized Controlled Trial.

Methods: In this study, these subjects were assigned into three groups, a control group ($n=10$), experiment group I ($n=10$) and experiment group II ($n=10$). The subjects in experimental group I were intervened by WBC (-130°C , 3 minutes) before induced EIMD, experimental group II were intervened by WBC (-130°C , 3 minutes) after induced EIMD and control group weren't by any intervened after induced EIMD.

Results: First, In the comparison of the PPT, there were significant variations with the lapse the time in three groups ($p<.001$) and there was a significant interaction of time and group ($p<.001$). In the among group comparison, the PPT of experimental group II was significantly larger than those of other groups ($p<.01$). Second, In the comparison of the CK, there were significant variations with the lapse the time in

three groups ($p<.001$) and there was a significant interaction of time and group ($p<.001$). In the among group comparison, the CK of experimental group II was significantly smaller than those of other groups ($p<.001$). Third, In the comparison of the LDH, there were significant variations with the lapse the time in three groups ($p<.01$) and there was a significant interaction of time and group ($p<.001$). In the among group comparison, the LDH of experimental group II was significantly smaller than those of other groups ($p<.001$).

Conclusion: The above results revealed that the WBC intervention after an exercise had a positive effect of muscle function after EIMD.

Key words: Creatine kinase, Exercise-induced muscle damage, Lactate dehydrogenase, Pressure pain threshold, Whole-body cryotherapy.

교신저자

전재근 교수
전라남도 광양시 광양읍 한려대길 94-13 한려대학교
T: 061-760-1142, E: zombiejeon@hanmail.net

I. 서론

현대 사회의 급속한 발전과 경제적 여유는 신체활동 감소와 운동 부족을 야기하여 여러 질병들의 발생 원인이 되고, 이런 문제를 본인이 해결하기 위해 운동 및 레저스포츠 활동을 참여하는 사람들이 증가하고 있다(고형우, 2011). 그러나 이러한 활동에서 최대강도의 운동은 즐기기 위한 스포츠 활동을 사람들에게 예상치 못한 근 손상을 경험하게 한다(Brancaccio 등, 2010; Hammouda 등, 2012). 특히 근섬유 길이의 변화가 심한 신장성 운동과 격렬하고 익숙하지 않은 신체의 움직임에 수반한 운동으로 인한 강한 자극은 근육에 손상을 일으키게 된다(Proske와 Morgan 2001).

과도하거나 익숙하지 않은 운동은 근육에 일시적이고 회복 가능한 손상을 일으킨다(Saxton과 Donnelly, 1995). 이러한 손상은 근육에서 일어난 구조적 손상의 반영으로 여겨지며, 운동 후 통증이 서서히 나타나므로 이러한 형태의 근육통을 지연성 근육통증(delayed onset muscle soreness; DOMS)이라 부른다(Kuipers, 1994). 이러한 지연성 근육통증은 72시간 이내에 관절운동범위, 부종, 근육통 등과 같은 특징을 나타내어 급성 염증 반응과 비슷한 형태를 나타낸다(Nosaka 등, 2002).

근육 손상은 외부의 심한 충격(crush), 타박상(contusion), 열상(laceration)또는 동결(freezing)등으로 유발되는 외상성(trumatic)근육 손상과 운동 유발성 근육 손상(exercise induced muscle damage; EIMD)으로 분류된다(Warren 등, 2007; 김하늘 등, 2020). EIMD는 원심성 근육 활동을 포함한 격렬하거나 익숙하지 않은 운동에 의해 근육에 미세손상이 발생한다(Howatson 등, 2009; Baroni 등, 2010). 또한 EIMD는 통증, 부종(swelling), 열감, 혈류정체, 국소적 부종, 허혈성 근 손상, 운동제한 등의 다양한 증상들을 발생시키며, 마이오글로빈(myoglobin; Mb), 혈중 크레아틴 키나아제(creatin kinase; CK)활성과 젖산탈수소효소(lactate dehydrogenase; LDH)와 같은 근피로 대사산물의 혈액 내 농도를 높이고, 근 단백질 분비를 증가시킨다(Clarkson 등, 1992; Chen 등, 2011).

EIMD의 회복에 대한 다양한 연구들이 이루어지고 있는데, 저장도-레이저치료(Baroni 등, 2010), 고압산소치료(McAlindon 등, 2000; Wilson 등 2007), 초음파(오세민 등, 2016), 진동자극(김은숙 등, 2011), 경피신경자극(김근조 등, 2009), 극저온 냉각요법(이영신과 배세현, 2017)등이 제시되고 이러한 방법들은 근육 손상 운동의 상해 예방이나 감소에 도움을 준다고 알려져 있다(신성필 등, 2020).

그 중 전신냉각요법(whole-body cryotherapy; WBC)은 최근 스포츠 회복 방법에 대한 과학적 관심이 증가하기 시작하면서 운동 후 회복을 위한 중재 방법으로 주목받기 시작하였다(Nemet 등, 2009). WBC는 Cryotherapy의 극단적인 온도를 적용하여 한랭치료의 효과를 극대화하여 회복 시간을 잠재적으로 단축시켜 운동 후 회복능력을 촉진하는 데 매우 효과적이라고 알려져 있으며 엘리트 운동선수들에게 근육 손상에 대한 회복을 향상시키는 방법으로 현재까지 널리 알려지고 있다(Banfi 등, 2010; Bouzigon 등, 2016).

WBC는 온도 조절식 냉각 장치를 이용하여 섭씨 약 -110°C 에서 -140°C 로 유지되는 극저온 환경으로부터 단시간(3분 이내)에 매우 차가운 가스를 전신에 급성 노출시켜 체온을 의도적으로 낮추고 신체가 이에 반응하도록 하여 근육 대사, 수용체 민감성 및 신경전도 속도를 감소시켜 운동으로 발생한 근육 손상과 그로 인한 2차 염증뿐만 아니라 초기 근육 손상과 통증을 감소시키는 효과가 있다(Banfi 등, 2010; Costello 등, 2015). 또한 근육의 탄성 증가와 CK, LDH 및 부종의 감소, 대사 호르몬 농도의 감소에 따른 통증섬유에서의 신경전달 및 자율신경 말단의 흥분도 감소, 혈중 피로물질(Pi, NH_3)의 감소 등을 가져와 피로회복에 매우 긍정적인 영향을 미친다(맹희정, 2002; Eston와 Peters, 1999; Banfi 등, 2009; Ingram 등, 2009; Rowsell 등, 2009; Hauswirth 등, 2011).

Rivera 등(2018)은 섬유 근육통 환자에게 WBC를 3주 동안 격일로 노출한 결과 대조군에 비해 시각적 아날로그

척도(visual analogue scale; VAS)에서 통증이 유의하게 감소되었다고 하였고, Eston과 Peters(1999)는 22세 여성을 대상으로 15분의 하지근 등속성 운동 후 냉치료를 적용한 결과, 혈중 CK 농도와 부종이 감소됨을 보고하였으며, Banfi 등(2009)은 10명의 이탈리아 럭비 국가대표팀을 대상으로 WBC를 운동 전·후 7일간 격일로 실시한 결과, 운동 후 WBC를 적용한 그룹에서 CK와 LDH가 유의하게 감소하여 운동에 의해 발생된 근 손상으로부터의 회복을 촉진시켰다고 보고하였다.

이와 같이 선행연구들을 살펴본 결과 EIMD 유발 후 WBC를 적용한 연구는 다양하게 이루어지고 있으나 EIMD 유발 전·후 WBC의 적용에 대한 효과를 비교한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 EIMD 유발 전·후 WBC를 적용하여 통증, CK와 LDH 농도의 변화를 비교 분석하여 EIMD의 유발을 예방할 수 있는 임상적 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구 기간 및 대상

본 연구는 G시 H대학에 재학 중인 대학생들로 본 연구의 취지를 이해하고 참여하겠다고 동의한 30명을 대상으로 2020년 7월 6일부터 3일간 실시하였다. 대조군(10명), EIMD유발 전 WBC 적용군(10명), EIMD 유발 후 WBC 적용군(10명)으로 세 그룹으로 나누어 제비뽑기를 통해 무작위 배정 후 진행하였다. 실험 기간 동안 본 연구 결과에 영향을 줄 수 있는 음주, 약물 등을 복용하지 않고 비 우세성 팔에 간접적인 치료를 하지 않도록 문서와 구두를 통해 지속적으로 권고하였다.

본 연구의 대상자는 다음과 같은 기준에 따라 제외시켰다. 이전에 팔다리뼈대에 수술을 경험한 자, 팔다리에 결손이 있는 자, 임산부, 기타 연구자가 부적합하다고 판단한 환자(출혈성 질환, 임신, 심장박동기, 발작장애 등 치료에 안전하지 않을 수 있는 요인을 지니고 있는 경우), 부신 피질 스테로이드(corticosteroids), 마취제(narcotics), 근육이완제, 항응고제, 한약 등을 복용 중이거나, 기타 연구자가 부적합하다고 생각하는 약품을 복용 중인 자, 주 2회 이상 규칙적으로 체육 활동을 하는 자

2. 연구 설계

연구를 위해 선정된 대상자는 실험군 I은 위팔두갈래근의 EIMD 유발 전 WBC 적용군, 실험군 II는 EIMD 유발 후 WBC 적용군 그리고 EIMD 유발 후 아무것도 적용하지 않은 대조군으로 제비뽑기를 통해 무작위로 분류하였으며, 통증, CK 및 LDH에 미치는 영향을 알아보고 적용시기에 따른 군 간의 차이를 비교하고자 하였다. 각 군에 해당하는 방법을 적용하기 전 압통역치, CK 및 LDH를 측정하였고, 대조군은 아무런 처치 없이 휴식을 취하게 하였고, WBC를 적용한 실험군은 24, 48시간에 같은 방법으로 측정하였으며, 실험군 I, II는 EIMD 유발 후 즉시 WBC를 적용하였다. 측정실의 실내습도는 50~60%, 실내온도는 24~27°C로 유지하였다. 제한점으로 일반적인 LDH만을 분석하였다. 본 연구의 목적을 달성하기 위한 연구 설계는 Figure 1과 같다.

3. 연구 방법

1) 운동 유발성 근육 손상(EIMD) 유발

EIMD를 유발시키기 위해 아령을 사용하여 비우세측 팔꿈관절 굽힘근의 1RM을 측정하였으며, 대상자가 팔꿈

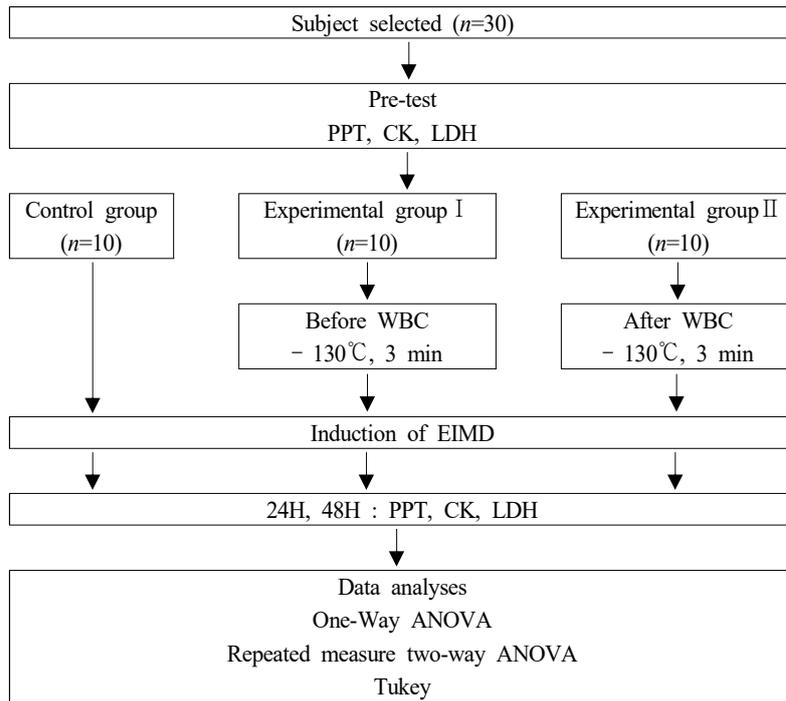


Figure 1. Diagram of experiment procedure

관절 0~135°의 범위에서 단 한번 최대로 들어 올릴 수 있는 무게의 양으로 설정하였다. EIMD는 1 RM의 60%에 해당하는 무게를 이용하여 대상자의 몸통과 어깨가 고정된 상태에서 8초 메트로놈에 맞춰 팔꿈관절 0~135°의 범위에서 무게를 천천히 내리게 했으며, 들어 올릴 때는 보조자가 도와주도록 하였다. 15회 반복한 것을 1set로 하여 전체 5set를 실시하였고, 각 set사이의 휴식시간은 60초로 하였다(이수영, 2006).

2) WBC 프로토콜

실험군 연구 대상자는 극저온 챔버에 들어가기 위한 의류(면 팬티와 양말, 발동상에 대한 추가 보호 수단으로 아크릴 신발)를 착용하도록 권유하였다. 초기 질소 가스로부터 호흡기를 보호하기 위해 천천히 얇은 호흡(짧은 코 흡입과 더 긴 호흡 구강 내뿜기)을 시행하였다. 질소로 충전된 저장탱크에서 50psi 액화질소 압력으로 초기 챔버 내부 안을 -40°C로 미리 냉각시킨 뒤 피험자가 아크릴 신발을 착용한 채로 들어가서 1분 동안 -130°C까지 도달하게 한 후, 이후 2분 동안 -130°C를 유지하도록 내부 온도를 조절하였다(김준, 2020).

4. 측정 방법

1) 압통계

EIMD유발 전 압통 역치를 비교하기 위해 디지털 압통역치측정기(Algometer TM Commander, J-TECH Medical, USA)를 사용하였다. 압통계의 측정 도자를 위팔두갈래근의 근복 5, 9, 13cm 위치에 수직으로 하여 힘을 가한다. 일정한 속도로 압력을 가하여 통증이 시작되는 시점에서 대상자가 ‘아’ 하는 소리를 내도록하여 그 순간의 유도된 통증의 값을 기록하여 3회 실시한 후 평균값을 채택하였다. 유성 도료로 표시하여 실험 기간 동안 재측정 시 위치가 바뀌지 않도록 하였고 운동 전, 24시간, 48시간에 걸쳐 총 3회 측정하였으며, 측정값은 높을수록 압통의 크기가 작음을 반영한다(연창호와 정석희, 2012)(Figure 2).



Figure 2. Digital algometer

2) 혈중 근피로 대사산물

혈액성분을 분석하기 위해 혈액 분석기(Cobas-8000, Roche, Switzerland, 2011)로 운동 전, 24시간, 48시간에 채혈하였으며, CK와 LDH를 측정하였다. 1회당 채혈량은 5ml로 공복 시에 채혈하여 원심분리기에서 10분간 원심 분리하여 혈청을 분리한 후 혈액분석기를 이용하여 분석하였다. 피험자는 채혈 전 공복을 유지하고, 최초 채혈시간에서 전·후로 1시간이 차이하지 않게 채혈할 수 있도록 안내하였다(송현호 등, 2011).

5. 자료분석

본 연구의 통계학적 분석은 Windows용 SPSS 18.0을 사용하였으며 집단 간 동질성 검정을 위해 one way ANOVA를 시행하였으며, 집단 간 기간별 변화비교를 위해 반복측정 분산분석(repeated measure ANOVA)을 시행하였다. 사후검정은 Tukey 방법을 이용하였고, 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

III. 연구결과

1. 연구 대상자들의 일반적 특성

연구 대상자의 평균나이에 있어 대조군은 24.87±1.33세, 실험군 I은 23.40±4.38세, 실험군 II는 22.30±0.17세였다. 대조군의 평균키는 176.88±5.74 cm였고, 실험군 I의 평균키는 175.70±5.77 cm였고, 실험군 II는 176.10±2.31 cm이었다. 또한 대조군의 평균 몸무게는 68.33±4.52 kg였고, 실험군 I의 평균 몸무게는 65.06±5.13 kg였고, 실험군 II는 71.90±4.28 kg이었다. 모든 군의 일반적 특성에 따른 동질성 검정 결과 통계학적 유의한 차이는 없었다<Table 1>.

Table 1. General characteristics of subjects

	Control group (n=10)	E- I group (n=10)	E- II group (n=10)	F	p
Age (yrs)	24.87±1.33 ^a	23.40±4.38	22.30±0.17	1.187	.567
Height (cm)	176.88±5.74	175.70±5.77	176.10±2.31	1.231	.482
Weight (kg)	68.33±4.52	65.06±5.13	71.90±4.28	0.487	.417

^aM±SD, E- I group=WBC intervention before an eccentric exercise on EIMD of biceps brachii; E- II group=WBC intervention after an eccentric exercise on EIMD of biceps brachii

2. 통증

집단 간에 통증 차이를 반복측정 분산분석 한 결과, 집단 내 효과검정에서 시간에서는 통계학적으로 유의한 차이가 있었고($p<.001$), 시간과 집단 간 에서도 유의한 교호작용이 있었으며($p<.001$), 집단 간 효과검정에서도 유의한 차이가 있었다($p<.01$). Tukey의 사후검정 결과, 실험군Ⅱ가 다른 군에 비해 PPT가 높게 나타나 더욱 효율적인 것을 알 수 있었다<Table 2>.

Table 2. Comparison of the change in the PPT among groups

Items	Control group (n=10)	E- I group (n=10)	E- II group (n=10)	post-hoc''
pre	35.18±5.11 ^a	34.07±3.01	34.35±2.10	
post-24h	27.23±2.28	25.15±3.65	27.32±3.31	
post-48h	23.31±1.51	22.44±3.69	28.19±3.49	
F'	82.375	3.449	7.357	
P	time: .000**	time×group: .000**	group: .003*	E II>E I>C

^aM±SD (lb), * $p<.001$, 'Repeated measure two-way ANOVA, ''Tukey, E- I group=WBC intervention before an eccentric exercise on EIMD of biceps brachii; E- II group=WBC intervention after an eccentric exercise on EIMD of biceps brachii

3. CK

집단 간에 CK의 차이를 반복측정 분산분석 한 결과, 집단 내 효과검정에서 시간에서는 통계학적으로 유의한 차이가 있었고($p<.001$), 시간과 집단 간 에서도 유의한 교호작용이 있었으며($p<.001$), 집단 간 효과검정에서도 유의한 차이가 있었다($p<.001$). Tukey의 사후검정 결과, 실험군Ⅱ가 다른 군에 비해 낮게 CK가 나타나 더욱 효율적인 것을 알 수 있었다<Table 3>.

Table 3. Comparison of the change in the CK among groups

Items	Control group (n=10)	E- I group (n=10)	E- II group (n=10)	post-hoc''
pre	145.41±10.72 ^a	138.60±4.20	143.77±10.11	
post-24h	122.70±5.57	112.95±9.87	113.88±11.50	
post-48h	126.11±6.66	127.73±33.88	124.88±7.99	
F'	588.639	70.254	68.36	
P	time: .000*	time×group: .000*	group: .000*	C, E I>E II

^aM±SD (U/L), * $p<.001$, 'Repeated measure two-way ANOVA, ''Tukey, E- I group=WBC intervention before an eccentric exercise on EIMD of biceps brachii; E- II group=WBC intervention after an eccentric exercise on EIMD of biceps brachii

4. LDH

집단 간에 LDH의 차이를 반복측정 분산분석 한 결과, 집단 내 효과검정에서 시간에서는 통계학적으로 유의한 차이가 있었고($p<.001$), 시간과 집단 간 에서도 유의한 교호작용이 있었으며($p<.001$), 집단 간 효과검정에서도 유의한 차이가 있었다($p<.001$). Tukey의 사후검정 결과, 실험군Ⅱ가 다른 군에 비해 LDH가 낮게 나타나 더욱 효율적인 것을 알 수 있었다<Table 4>.

Table 4. Comparison of the change in the LDH among groups

Items	Control group (n=10)	E- I group (n=10)	E- II group (n=10)	post-hoc''
pre	358.20±36.64 ^a	354.50±45.33	365.60±36.44	
post-24h	445.25±42.32	396.20±44.49	381.30±24.21	
post-48h	653.50±47.42	610.50±60.73	437.20±21.59	
F'	239.348	29.991	70.571	
P	time: .000*	time×group: .000*	group: .000*	C>E I >E II

^aM±SD (U/L), *p<.001, 'Repeated measure two-way ANOVA, ''Tukey, E- I group=WBC intervention before an eccentric exercise on EIMD of biceps brachii; E- II group=WBC intervention after an eccentric exercise on EIMD of biceps brachii

IV. 고 찰

운동에 의한 근 손상은 대사적 스트레스(metabolic stress) 또는 구조적 스트레스(mechanical stress)환경에 의해 초래되며 유사한 기전으로 초기 반응을 유도한다(White 등, 2013). 대사적 스트레스 반응은 장기간 운동 시 발생하는 과도한 열 발생(Arbogast 등, 2004) 및 유산소 에너지 이용 정도에 따라 나타나며(Clanton 등, 2007), NADPH oxidase(NOX)에 의해 골격근 미토콘드리아 내에 반응성 활성 산소종(reactive oxygen species; ROS)을 증가시켜 세포의 산화-환원 반응을 변화시킬 뿐 만 아니라(White 등, 2013), 근 섬유막(sarcolemma)과 DNA(deoxy-ribonucleic acid)를 포함한 모든 세포내 소기관의 손상을 유발한다(Kregel 등, 1992; Zembron-Lancy 등, 2010). 이로 인해 혈액 내 pH를 떨어트리고 산성화를 일으켜 피로를 유발하며, ATP 및 크레아틴인산 그리고 체내의 저장된 글리코젠과 같은 에너지 결핍 등의 요인들로 근육 내의 부산물을 축적함으로써 단기간 신경근 수행능력(short-term neuromuscular performance)의 장애를 유발하여 신경자극전달의 어려움을 발생한다. 이러한 손상은 근육의 이완과 수축활동을 억제하여 운동수행력을 제한한다(Cairns, 2006). 특히 냉각요법은 체온을 안정 수준 이하로 감소 시켜서 열저장 용량을 증가시켜서 운동 지속 시간을 연장시킬 뿐만 아니라 운동 후 피로나 조직 손상 등을 예방하는 효과가 있는 것으로 알려졌다(Cabral-Santos 등, 2017). Hausswirth(2011)는 마라톤 선수 9명을 대상으로 EIMD 유발 후 원적외선, 수동운동, WBC를 적용한 결과, WBC를 적용한 군에서 MVIC가 유의하게 증가된다고 하였고, Burke 등(2000)은 엉덩관절주름(gluteal fold)까지 CWI(8℃)를 적용한 결과 대조군에 비해 엉덩관절 굽힘근의 MVIC가 유의하게 증가된다고 하였으며, 또한 강태웅과 박정배(2018)는 20대 남자 대학생 6명을 대상으로 인위적으로 넙다리내갈래근에 지연성 근육통을 유발한 후 저온침수 스트레칭(cold-stretch)을 적용한 결과 관절가동범위가 유의하게 증가됨을 보고하였다. 따라서 본 연구에서는 EIMD 유발 전·후에 WBC를 적용한 후 최대등척성근력, 압통역치, 관절가동범위, 그리고 CK와 LDH의 농도 변화를 비교 분석하여 EIMD 유발을 예방하기 위한 효과적인 중재 시기를 알아보고자 실시하였다.

Buchanan과 Midgley(1987)는 압통이란 촉진 혹은 압력에 대한 비정상적 민감성의 정도를 말하며, 압통 역치(pressure pain threshold)는 근골격계 통증 환자들의 통증 강도를 객관적으로 측정하기 위한 도구로서 해로운 자극에 대하여 가까스로 느낄 수 있는 첫 통증이라고 정의된다(양윤라와 신항식, 2018; 석현석과 신항식, 2018; Lee와 Park, 2019). Fischer(1987)가 개발한 압통계(pressure algometry)에 이용되는 압통 역치는 통증의 정도를 객관적으로 수량화함으로써 골격근의 통증을 호소하는 환자에게 임상적으로 쉽게 이용할 수 있는 진단 방법의 하나이다(김성철 등, 2005; Pelfort 등, 2015). 또한 디지털 압통계는 통증의 정도를 객관적으로 수량화함으로써 골격근의 통증을 호소하는 환자에게 임상적으로 쉽게 이용할 수 있는 방법 중의 하나로서 기계적 통증의 역치를 평가하는 도구

이다(권영은 등, 2001; Hübscher 등, 2008).

본 연구에서 EIMD 유발 전·후 WBC를 적용한 결과 모든 군에서 실험 전, 24시간, 48시간 후에서 PPT의 유의한 감소가 보였다($p<.001$). 또한 EIMD 유발 전·후 WBC를 적용한 집단 간 압통역치값(PPT)차이를 분석한 결과, 시기와 집단 간에 유의한 교호 작용이 있었고($p<.001$), 집단 간 효과검정에서도 유의한 차이가 있어($p<.001$) 사후 검정을 실시한 결과, EIMD 유발 후 WBC 적용군이 다른 군에 비해 높게 나타났다($p<.01$). 김근조 등(2009)은 신체적 질환이 없는 9명의 대학생을 대상으로 위팔두갈래근에 EIMD 유발 전·후 냉치료 적용군으로 나누어 치료 전·후의 통증 자각도의 변화를 비교한 결과, 운동 후 냉치료를 적용한 군에서 더 효과가 있음을 보고하였고($p<.05$), Fonda와 Sarabon(2013)은 뒤넙다리근에 EIMD 유발 후 5일 동안 매일 3분씩 WBC를 적용한 결과, 현저한 근육통의 감소를 보고하였다. 김근조 등(2009)의 연구와 Fonda와 Sarabon(2013)의 연구는 중재방법과 중재 시기에 다소 차이는 있었으나 본 연구와 유사한 결과를 도출하였다. 이와 같은 결과에 있어 Cameron(2017)은 냉치료의 적용으로 조직의 온도가 저하되면 피하 온도 감수체가 활성화되기 시작하면서 통증의 관문 전달에 의한 통각을 직접적이고 신속하게 변형시켜 직·간접적으로 통증을 줄여준다고 하였고, Michlovitz(1990) 연부조직의 급성 손상 시 냉치료의 적용은 단일연접 신장반사의 억제를 통해 근경련과 염증 그리고 통증을 감소시킨다고 보고하여 본 연구의 결과를 지지하여 주고 있다.

Nosaka와 Clarkson(1992)은 CK가 근육 손상 시 가장 흔한 생화학적 지표로 사용된다고 하였고, 근세포 대사에 중요한 효소로서 건강한 근육에서 안정 시 CK는 원형질 내에 포함되어 있으며 혈중 농도는 낮다고 보고하였다. 본 연구에서 EIMD 유발 전·후 WBC를 적용한 결과, 집단 내 CK 농도변화는 모든 군에서 실험 전, 24시간, 48시간에서 통계학적으로 유의한 차이가 있었고($p<.001$), 집단 간 CK 농도 변화를 분석한 결과 시기와 집단 간에도 유의한 교호작용이 있었으며($p<.001$), 집단 간 효과검정에서도 유의한 차이가 있어($p<.001$), 사후 검정을 실시한 결과 EIMD 유발 후 WBC 적용군이 다른 군에 비해 CK 농도가 가장 낮게 나타났다. 엄지수(2006)는 신체적 질환이 없는 대학생 9명을 선정하여 등속성 운동으로 근피로를 유발 시킨 후 CK 농도의 변화를 비교한 결과, 운동 후 냉치료를 적용한 군에서 혈중 CK 농도의 유의한 차이가 있음을 보고하였고($p<.05$), 박은희(2018)는 태권도 선수에게 경기 후 CWI를 적용한 결과, 혈중 CK 농도의 유의한 차이가 있음을 보고하여($p<.05$) 중재방법에는 다소 차이가 있었지만 본 연구와 유사한 결과를 도출하였다.

또 다른 측정지표인 LDH는 근활동 중 무산소 해당계에 의해 ATP를 생산하는 필수 효소로서 무산소성 해당의 최종단계에서 피루브산을 이용하여 당질의 이화 및 동화작용의 평형을 이루는 역할을 한다(Everse와 Kaplan, 2012). 본 연구에서 EIMD 유발 전·후 WBC를 적용한 결과, 집단 내 LDH 농도 변화는 모든 군에서 실험 전, 24시간, 48시간에서 통계학적으로 유의한 차이가 있었고($p<.001$), 집단 간에 LDH 차이를 분석한 결과, 시기와 집단 간에도 유의한 교호작용이 있었으며($p<.001$), 집단 간 효과 검정에서도 유의한 차이가 있어($p<.001$), 사후 검정을 실시한 결과 EIMD 유발 후 WBC 적용군이 다른 군에 비해 LDH 농도가 가장 낮게 나타났다. 이용진(2002)은 대학생 8명을 대상으로 운동 후 냉처치(10°C , 15°C)를 적용한 결과, LDH 농도 변화에 유의한 차이가 있다고 하였고($p<.05$), Qu 등(2018)은 육상 중장거리 선수 12명을 대상으로 EIMD 유발 후 WBC를 적용한 결과, WBC를 적용한 군에서 LDH 농도 변화에 긍정적인 영향을 미친다고 보고하여, 중재방법에는 다소 차이가 있었지만 본 연구와 유사한 결과를 도출하였다. 이와 같은 결과에 있어 Drinkwater(2008), Racinais와 Oksa(2010)는 냉각이 혈중 젖산 농도 및 심박수와 체온 등의 생리적 요인들을 빠르게 안정 시 수준까지 근접할 수 있도록 촉진시킨다고 하여 본 연구결과를 지지하여 주고 있다.

이상의 결과를 통해 위팔두갈래근의 EIMD 유발 전·후 WBC 적용이 PPT, CK, LDH에 영향을 미치는 것을 알 수 있었고, 특히 EIMD 유발 후 WBC 적용이 EIMD 유발 전 WBC 적용보다 더 효과적이라는 것을 알 수 있었다.

V. 결 론

본 연구는 20대 정상 성인의 위팔두갈래근에 EIMD의 유발 전·후 WBC를 -130°C , 3분간 실시한 후 PPT, CK와 LDH의 변화를 집단 그리고 시기 및 집단별로 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫 번째 실험결과, EIMD 유발 전·후 WBC를 적용한 결과 모든 군에서 실험 전, 24시간, 48시간 후에서 PPT가 유의한 차이를 보였다($p<.001$). 또한 집단 간 PPT를 분석한 결과, 시간과 집단 간에서도 유의한 교호작용이 있었고($p<.001$), 집단 간 효과검정에서도 유의한 차이가 있어($p<.01$) 사후 검정을 실시한 결과, EIMD 유발 후 WBC 적용군이 다른 군에 비해 PPT가 가장 높게 나타났다.

두 번째 실험결과, EIMD 유발 전·후 WBC를 적용한 결과 모든 군에서 실험 전, 24시간, 48시간 후에 CK 농도 변화는 모든 군에서 유의한 차이가 있었다($p<.001$). 또한 집단 간에 CK 농도차이를 분석한 결과, 시간과 집단 간에서도 유의한 교호작용이 있었고($p<.001$), 집단 간 효과검정에서도 유의한 차이가 있어($p<.001$) 사후 검정을 실시한 결과, EIMD 유발 후 WBC 적용군이 다른 군에 비해 CK의 농도가 가장 낮게 나타났다.

세 번째 실험결과, EIMD 유발 전·후 WBC를 적용한 결과 집단 내 LDH 농도변화는 모든 군에서 실험 전, 24시간, 48시간에서 유의한 차이가 있었고($p<.001$), 또한 집단 간에 LDH 농도차이를 분석한 결과, 시간과 집단 간에도 유의한 교호작용이 있었으며($p<.001$), 집단 간 효과검정에서도 유의한 차이가 있어($p<.001$), 사후검정을 실시한 결과, EIMD 유발 후 WBC 적용군이 다른 군에 비해 LDH 농도가 가장 낮게 나타났다.

이상의 결과를 통해 위팔두갈래근의 EIMD 유발 전·후 적용된 WBC가 PPT, CK, LDH에 영향을 미치는 것을 알 수 있었고, 특히 EIMD 유발 후 WBC 적용이 EIMD 유발 전 WBC 적용보다 더 효과적이라는 것을 알 수 있었다. 따라서 EIMD 유발을 예방하고 감소시키기 위해 운동 후 WBC를 적용하는 것은 매우 의미 있는 중재방법이라고 판단되며, 향후 연구에서는 WBC의 온도, 주기, 시간 그리고 적용부위 등의 다양한 변수에 따른 연구가 진행되어야 한다고 사료된다.

참고문헌

- 강태웅, 박정배. 인위적 지연성 근통증 유발 후 저온침수 스트레칭이 라이프케어를 위한 근통증 지표 및 운동기능에 미치는 영향. 한국엔터테인먼트산업학회논문지 2018;12(8):317-26.
- 고형우. 진동자극이 지연성 근육통의 근 기능 회복에 미치는 영향[국내석사학위논문]. 동신대학교; 2011.
- 권영은, 이수중, 윤채식, 등. 근근막 통증 증후군에서 Pressure Algometer 를 이용한 골격근 압통 역치에 관한 연구. The Korean Journal of Pain 2001;14(1):32-36.
- 김근조, 이규리, 정병욱, 등. 자연치유와 경피신경전기자극치료, 그리고 냉치료가 지연성근육통이 유발된 위팔두갈래근의 통증과 근력 및 근활성도에 미치는 영향. 한국산학기술학회 논문지 2009;10(12):3902-9.
- 김성철, 임정아, 김성남, 등. 근골격계질환에 있어서 침치료와 침과약침복합치료 자극 후 통증의 변화. 대한약침학회지 2005;8(2).
- 김은숙, 김미화, 조유미, 등. 원심성 운동 전 진동 훈련이 하퇴근육의 지연성 근통증에 미치는 영향. 한국산학기술학회논문지 2011;12(12):5789-96.
- 김준. 최대하 운동 전 크라이오테라피가 엘리트 태권도 선수들의 혈중 피로물질 및 근 손상지표에 미치는 영향

- [석사학위논문]. 고려대학교 세종캠퍼스; 2020.
- 김하늘, 전재근, 신성필. 운동 전 적용된 지속초음파와 맥동초음파가 운동 유발성 근육 손상의 통증과 근피로대사산물에 미치는 효과. *대한물리치료과학회지* 2020;27(3):56-66.
- 맹희정. 운동생리학: 근 피로 유발후 냉요법에 따른 코티졸, 테스토스테론의 변화. *한국체육학회지* 2002;41(3):317-23.
- 박은희. 태권도 선수의 경기 후 Cold water immersion이 중추신경계 피로와 스트레스호르몬 및 근 손상, 항산화효소에 미치는 효과[박사학위논문]. 성신여자대학교; 2018.
- 석현석, 신항식. 광용적맥파 미분 파형 기반 수술 후 통증 평가 가능성 고찰. *전기학회논문지* 2018;67(7):962-8.
- 송현호, 김주영, 이철현, 등. 운동유발성 근육 손상 후 진동운동 적용이 근육 손상 지표에 미치는 영향. *코칭능력개발지* 2011;13(1):179-88.
- 신성필, 손경현, 전재근. 운동 후 극저온 냉각치료 적용이 운동유발성 근육 손상의 최대등척성근력과 관절가동범위에 미치는 효과. *대한물리치료과학회지* 2020;27(3):45-55.
- 양윤라, 신항식. 광용적맥파 진폭변이도 시간영역 분석을 통한 술후 통증 평가 가능성 고찰. *한국지능시스템학회 논문지* 2018;28(3):269-74.
- 엄지수. 등속성 운동 후 실시한 냉치료 처치가 지연성 근통증 관련 변인에 미치는 영향[석사학위논문]. 경희대학교; 2006.
- 연창호, 정석희. 지연성 근육통의 근복부와 근건이행부 자침효능 비교. *한방재활의학과학회지* 2012;22(2):219-28.
- 오세민, 전재근, 유병국, 등. 운동유발성 근육손상 전 맥동초음파 적용이 통증과 근피로대사산물에 미치는 효과. *한국엔터테인먼트산업학회논문지* 2016;10(5):81-8.
- 이수영. 유지-이완 주동근 수축기법과 경피신경전기자극의 지연성 근육통 치료 효과[박사학위논문]. 연세대학교; 2006.
- 이영신, 배세현. 한냉과 온열의 적용 시간과 전달 방식이 장딴지근의 근 활성화도에 미치는 영향. *대한물리의학회지* 2017;12(2):1-8.
- 이용진. 근피로 유발 후 냉요법이 혈중 암모니아, 젖산농도, 젖산 탈 수소 효소 및 크레아틴 키나제 변화에 미치는 영향[박사학위논문]. 세종대학교; 2002.
- Arbogast S, Reid MB. Oxidant activity in skeletal muscle fibers is influenced by temperature, CO₂ level, and muscle-derived nitric oxide. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2004;287(4):R698-705.
- Banfi G, Melegati G, Barassi A, et al. Effects of whole-body cryotherapy on serum mediators of inflammation and serum muscle enzymes in athletes. *J Therm Biol* 2009;34(2):55-9.
- Banfi G, Lombardi G, Colombini A, et al. Whole-body cryotherapy in athletes. *Sports Med* 2010;40(6):509-17.
- Baroni BM, Leal Junior EC, De Marchi T, et al. Low level laser therapy before eccentric exercise reduces muscle damage markers in humans. *Eur J Appl Physiol* 2010;110(4):789-96.
- Bouzigon R, Grappe F, Ravier G, et al. Whole- and partial-body cryostimulation/cryotherapy: Current technologies and practical applications. *J Therm Biol* 2016;61:67-81.
- Brancaccio P, Lippi G, Maffulli N. Biochemical markers of muscular damage. *Clin Chem Lab Med* 2010;48(6):757-67.
- Buchanan HM, Midgley JA. Evaluation of pain threshold using a simple pressure algometer. *Clin Rheumatol* 1987;6(4):510-7.
- Burke DG, MacNeil SA, Holt LE, et al. The effect of hot or cold water immersion on isometric strength training. *J*

- Strength Cond Res 2000;14(1):21-5.
- Cabral-Santos C, Gerosa-Neto J, Inoue DS, et al. Physiological Acute Response to High-Intensity Intermittent and Moderate-Intensity Continuous 5 km Running Performance: Implications for Training Prescription. *J Hum Kinet* 2017;56:127-37.
- Cairns SP. Lactic acid and exercise performance : culprit or friend? *Sports Med* 2006;36(4):279-91.
- Cameron MH. *Physical Agents in Rehabilitation-E Book: An Evidence-Based Approach to Practice*. Elsevier Health Sciences, 2017.
- Chen Z, Zhao TJ, Li J, et al. Slow skeletal muscle myosin-binding protein-C (MyBPC1) mediates recruitment of muscle-type creatine kinase (CK) to myosin. *Biochem J* 2011;436(2):437-45.
- Clarkson PM, Nosaka K, Braun B. Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24(5):512-20.
- Clanton TL. Hypoxia-induced reactive oxygen species formation in skeletal muscle. *J Appl Physiol* 2007;102(6):2379-88.
- Costello JT, Baker PR, Minett GM, et al. Whole-body cryotherapy (extreme cold air exposure) for preventing and treating muscle soreness after exercise in adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2015;(9):CD010789.
- Drinkwater E. Effects of peripheral cooling on characteristics of local muscle. *Med Sport Sci* 2008;53:74-88.
- Eston R, Peters D. Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. *J Sports Sci* 1999;17(3):231-8.
- Everse, Kaplan NO. Mechanisms of action and biological function of various dehydrogenase isozymes. *Isozymes (Part II)*; 2012. p.29-43.
- Fischer AA. Pressure algometry over normal muscles. Standard values, validity and reproducibility of pressure threshold. *Pain* 1987;30(1):115-26.
- Fonda B, Sarabon N. Effects of whole-body cryotherapy on recovery after hamstring damaging exercise: a crossover study. *Scand J Med Sci Sports* 2013;23(5):e270-8.
- Hammouda O, Chahed H, Chtourou H, et al. Morning-to-evening difference of biomarkers of muscle injury and antioxidant status in young trained soccer players. *Biol Rhythm Res* 2012;43(4):431-8.
- Hauswirth C, Louis J, Bieuzen F, et al. Effects of whole-body cryotherapy vs. far-infrared vs. passive modalities on recovery from exercise-induced muscle damage in highly-trained runners. *PLoS One* 2011;6(12):e27749.
- Howatson G, Goodall S, van Someren KA. The influence of cold water immersions on adaptation following a single bout of damaging exercise. *Eur J Appl Physiol* 2009;105(4):615-21.
- Hübscher M, Vogt L, Bernhörster M, et al. Effects of acupuncture on symptoms and muscle function in delayed-onset muscle soreness. *J Altern Complement Med* 2008;14(8):1011-6.
- Ingram J, Dawson B, Goodman C, et al. Effect of water immersion methods on post-exercise recovery from simulated team sport exercise. *J Sci Med Sport* 2009;12(3):417-21.
- Kregel KC, Seals DR, Callister R. Sympathetic nervous system activity during skin cooling in humans: relationship to stimulus intensity and pain sensation. *J Physiol* 1992;454:359-71.
- Kuipers H. Exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Med* 1994;15(3):132-5.
- Lee S, Park H. Effects of auricular acupressure on pain and disability in adults with chronic neck pain. *Appl Nurs Res* 2019;45:12-16.
-

- McAlindon TE, LaValley MP, Gulin JP, et al. Glucosamine and chondroitin for treatment of osteoarthritis: a systematic quality assessment and meta-analysis. *JAMA* 2000;283(11):1469-75.
- Michlovitz SL. Diathermy and pulsed electromagnetic fields. Thermal agents in rehabilitation. 2nd ed. Philadelphia: FA Davis Co; 1990.
- Nemet D, Meckel Y, Bar-Sela S, et al. Effect of local cold-pack application on systemic anabolic and inflammatory response to sprint-interval training: a prospective comparative trial. *Eur J Appl Physiol* 2009;107(4):411-7.
- Nosaka K, Clarkson PM. Relationship between post-exercise plasma CK elevation and muscle mass involved in the exercise. *Int J Sports Med* 1992;13(6):471-5.
- Nosaka K, Newton M, Sacco P. Delayed-onset muscle soreness does not reflect the magnitude of eccentric exercise-induced muscle damage. *Scand J Med Sci Sports* 2002;12(6):337-46.
- Pelfort X, Torres-Claramunt R, Sánchez-Soler JF, et al. Pressure algometry is a useful tool to quantify pain in the medial part of the knee: an intra- and inter-reliability study in healthy subjects. *Orthop Traumatol Surg Res* 2015;101(5):559-63.
- Proske U, Morgan DL. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *J Physiol* 2001;537(Pt 2):333-45.
- Qu C, Xu M, Qin F, et al. PO-228 Effects of Different Cryotherapy Models on Timing Sequence Recovery of Exercise Induced Muscle Damage in Middle and Long Distance Runners. *Exerc Biochem Rev* 2018;1(5).
- Racinais S, Oksa J. Temperature and neuromuscular function. *Scand J Med Sci Sports* 2010;20 Suppl 3:1-18.
- Rivera J, Tercero MJ, Salas JS, et al. The effect of cryotherapy on fibromyalgia: a randomised clinical trial carried out in a cryosauna cabin. *Rheumatol Int* 2018;38(12):2243-50.
- Rowell GJ, Coutts AJ, Reaburn P, et al. Effects of cold-water immersion on physical performance between successive matches in high-performance junior male soccer players. *J Sports Sci* 2009;27(6):565-73.
- Saxton JM, Donnelly AE. Light concentric exercise during recovery from exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Med* 1995;16(6):347-51.
- Warren GL, Summan M, Gao X, et al. Mechanisms of skeletal muscle injury and repair revealed by gene expression studies in mouse models. *J Physiol* 2007;582(Pt 2):825-41.
- White GE, Wells GD. Cold-water immersion and other forms of cryotherapy: physiological changes potentially affecting recovery from high-intensity exercise. *Extrem Physiol Med* 2013;2(1):26.
- Wilson HD, Toepfer VE, Senapati AK, et al. Hyperbaric oxygen treatment is comparable to acetylsalicylic acid treatment in an animal model of arthritis. *J Pain* 2007;8(12):924-30.
- Zembron-Lacny A, Naczki M, Gajewski M, et al. Changes of muscle-derived cytokines in relation to thiol redox status and reactive oxygen and nitrogen species. *Physiol Res* 2010;59(6):945-51.
-