

대한물리치료과학회지

Journal of Korean Physical Therapy Science
2020. 12. Vol. 27, No.3, pp. 45-55

운동 후 극저온 냉각치료 적용이 운동유발성 근육 손상의 최대등척성근력과 관절가동범위에 미치는 효과

신성필¹ · 손경현² · 전재근²

¹한려대학교 보건대학원 물리치료학과 · ²한려대학교 물리치료학과

The effect of whole-body cryotherapy intervention after an exercise on MVIC and ROM of EIMD

Sung Phil Shin¹, B.Sc., P.T. · Gyeong Hyeon Son², Ph.D., P.T. · Jae Geun Jeon², Ph.D., P.T.

¹*Dept. of physical therapy, Graduate School, Hanlyo University*

²*Dept. of physical therapy, Hanlyo University*

Abstract

Background: The purpose of this study was to investigate the effects of WBC (whole-body cryotherapy) on the MVIC (maximal voluntary isometric contraction) and active ROM (range of motion) recovery of after EIMD (exercise-induced muscle injury).

Design: Randomized Controlled Trial.

Methods: Thirty subjects who are student in their 20s at a university participated 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 the experimental group I were intervened by WBC (-130°C , 3 minutes) before induced EIMD, the experimental group II were intervened by WBC (-130°C , 3 minutes) after induced EIMD, and the control group weren't by any intervened after induced EIMD.

Results: First, In the comparison of the MVIC, 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 MVIC of experimental group II was significantly larger than those of other groups ($p<.001$). Second, In the comparison of the active extension angle, 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 active extension angle of experimental group II was significantly smaller than those of other groups ($p<.001$). Third, In the comparison of the active flexion angle, 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 active flexion angle of experimental group II was significantly larger than those of other groups ($p<.05$).

Conclusion: The above results revealed that the WBC intervention after an exercise had a positive effect of muscle function after EIMD. Therefore we can consider the WBC as a considerable intervention method to prevent or reduce an exercise injury.

Key words: Exercise induced muscle damage, Maximal voluntary isometric contraction, Range of motion, Whole-body cryotherapy

© 2020 by the Korean Physical Therapy Science

I. 서론

규칙적이고 적당한 운동은 심혈관 질환, 당뇨, 특정 암, 골다공증, 비만 및 고혈압과 같은 만성질환을 예방하기 위한 효과적인 수단으로 운동에 참여하는 인구가 지속적으로 증가하고 있다(Warburton 등, 2006). 그러나 고강도 운동 또는 신체 조정 능력 수준을 고려하지 않은 과도한 운동, 운동 시 미숙한 자세 그리고 최대 운동으로 인해 운동 후 근육의 손상을 유발할 수 있다(Bryme 등, 2001; Brancaccio 등, 2010; Hammouda 등, 2011).

근육 손상은 외부의 심한 충격(crush), 타박상(contusion), 열상(laceration) 또는 동결(freezing) 등으로 유발되는 외상성(traumatic) 근육 손상과 운동 유발성 근육 손상(exercise induced muscle damage; EIMD)으로 분류된다(Warren 등, 2007). EIMD는 원심성 근육 활동을 포함한 격렬하거나 익숙하지 않은 운동에 의해 근육에 미세손상이 발생한다(Howatson 등, 2009; Baroni 등, 2010).

근육의 미세한 손상은 통증을 유발하며 운동 직후의 근육통과 지연성 근육통(delayed onset muscle soreness; DOMS)으로 나눌 수 있다(최기선, 2008; 김덕조 등, 2019). 운동 직후에 발생하는 근육통은 피로의 시점까지 수행되는 격렬한 운동 중 혹은 운동 직후 나타나는데 그 원인은 근육에 젖산과 칼륨 같은 신진대사 산물의 일시적인 생성과 부적절한 혈액의 공급과 산소의 부족으로 인한 피로 때문이며(Miller 등, 2004), 이는 혈중 피로 요인의 증가와 근 손상을 유발 한다(Cheung 등, 2003; Hilbert 등, 2003; Proske, 2005). 특히 DOMS는 익숙하지 않은 운동 후 나타나는 골격근의 통증으로 발생 후 24~48시간에 최고조에 이르며 8~10일 후 완전히 사라지는데 근력의 약화와 관절가동범위의 감소를 초래하여 일상 생활동작과 재활을 방해하는 요소로서 작용한다(Vickers 등, 1997).

EIMD에 대한 회복을 위한 다양한 연구들이 이루어지고 있는데, 경피신경자극(김근조 등, 2009), 진동자극(김은숙 등, 2011), 저강도-레이저치료(Baroni 등, 2010), 고압산소치료(McAlindon 등, 2000; Wilson 등 2007), 초음파(오세민 등, 2016), 냉요법(Howatson과 Van Someren, 2008), 극저온 냉각요법(이영신과 배세현, 2017) 등이 제시되고 이러한 방법들은 근육 손상의 운동 상해 예방이나 감소에 도움을 준다고 알려져 있다.

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°C에서 -140°C로 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 염증 뿐만 아니라 초기 근육 손상과 통증을 감소시키는 효과가 있다(Banfi 등, 2010; Costello 등, 2015).

교신저자: 전재근

주소: 전라남도 광양시 광양읍 한려대길 94-13 한려대학교 물리치료학과, 전화: 061-760-1142, E-mail: zombiejeon@hanmail.net

Eston과 Peters(1999)는 22세 여성을 대상으로 15분의 하지근 등속성 운동 후 냉치료를 적용한 결과, 근육의 탄성이 증가됨을 보고하였으며, 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 하였다.

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 최대등척성근력(maximal voluntary isometric contraction; MVIC), 관절가동범위(range of motion; ROM)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 6일 부터 3일간 실시하였다. 대조군(10명), EIMD유발 전 WBC 적용군(10명), EIMD 유발 후 WBC 적용군(10명)으로 세 그룹으로 나누어 예비실험을 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.

1) 제외기준

- (1) 이전에 팔다리뼈대에 수술을 경험이 있는 자
- (2) 팔다리에 결손이 있는 자
- (3) 임산부
- (4) 기타 연구자가 부적합하다고 판단한 환자(출혈성 질환, 임신, 심장박동기, 발작장애 등 치료에 안전하지 않을 수 있는 요인을 지니고 있는 경우)
- (5) 부신 피질 스테로이드(corticosteroids), 마취제(narcotics), 근육이완제, 항응고제, 한약 등을 복용 중이거나, 기타 연구자가 부적합하다고 생각하는 약품을 복용 중인 자
- (6) 주 2회 이상 규칙적으로 체육 활동을 하는 자

2. 연구 설계

연구를 위해 선정된 대상자는 실험군 I 은 위팔두갈래근의 EIMD 유발 전 WBC 적용군, 실험군 II는 EIMD 유발 후 WBC 적용군 그리고 EIMD 유발 후 아무것도 적용하지 않은 대조군으로 예비실험을 통해 무작위로 분류하였으며, 최대등척성근력과 관절가동범위에 미치는 영향을 알아보고 적용시기에 따른 군 간의 차이를 비교하고자 하였다. 각 군에 해당하는 방법을 적용하기 전 최대등척성근력과 관절가동범위를 측정하였고, 대조군은 아무런 처치 없이 휴식을 취하게 하였고, WBC를 적용한 실험군은 24, 48시간에 같은 방법으로 측정하였으며, 측정실의 실내습도는 50~60%, 실내온도는 24~27℃로 유지하였다. 본 연구의 목적을 달성하기 위한 연구 설계는 Figure 1과 같다.

1) 운동 유발성 근육 손상(EIMD) 유발

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

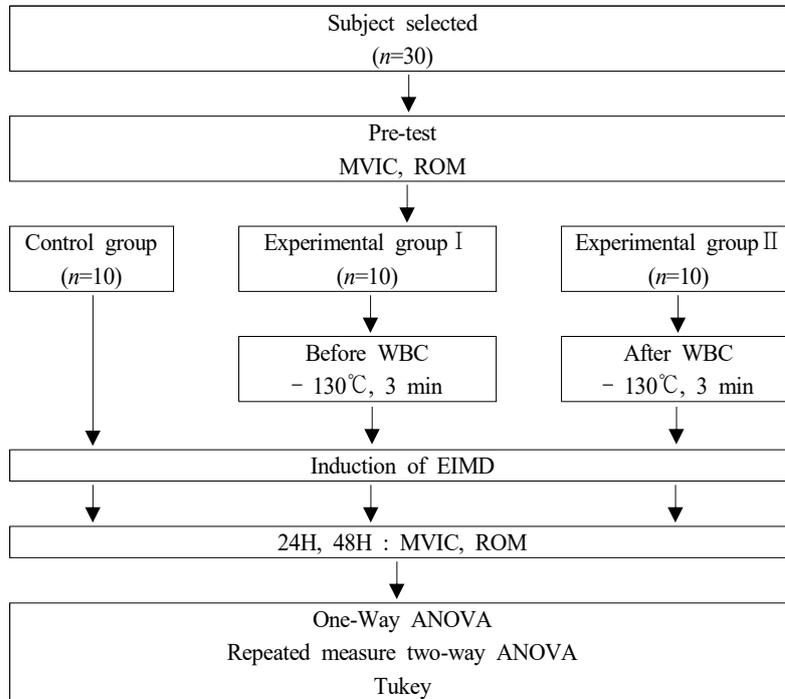


Figure 1. Diagram of experiment procedure

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) 최대 등척성 근력

팔꿈관절 굽힘근의 등척성 수축력 측정을 위하여 자체 제작한 의자와 디지털 근력 측정계(TM Commander, J-TECH Medical, USA)을 사용하였다(Figure 2) 굽관절 굽힘근인 위팔두갈래근의 최대 등척성 근력을 측정하기 위해 실험자의 비우세 팔꿈관절의 굽힘근을 대상으로 실시하였다. 디지털 근력측정기를 대상자의 팔꿈관절을

직각으로 굽힌 상태에서 손바닥 면이 천장을 향하게 하여 받침대와 평행하게 하였다. 장치를 고정하여 비우세 위팔두갈래근의 최대 등척성 근력을 측정하고, 3회 실시한 후 평균값을 채택하였다. 피험자마다 같은 자세 유지를 위해 측정 팔이 아닌 다른 팔은 무릎에 위치하도록 하였으며, 다른 근육의 사용을 제한하였다. 최대 등척성 근력은 최대값이 3초 유지될 때의 값을 채택하였고 운동 전, 24시간, 48시간에 걸쳐 총 3회 측정하였다(송현호 등, 2011; 김동훈과 김경훈, 2020).



Figure 2. Digital muscle tester

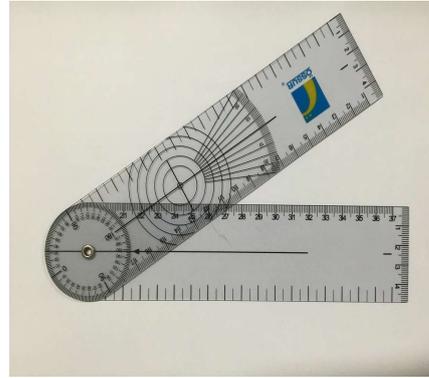


Figure 3. Double-armed goniometer

2) 능동관절가동범위

팔꿈관절굽힘근인 위팔두갈래근은 능동적으로 굽힘과 펴기 시 각각 3회 측정 후 평균값을 사용하였다. 측정 자세는 똑바로 서서 어깨까지 노출시킨 후 바닥과 평행하게 어깨관절을 90°로 구부리고(이성진 등, 2017) 팔꿈관절의 굽힘과 펴기는 완전한 뒤침 상태에서 측정하였으며, 펴기는 위팔두갈래근의 원심성 수축 각도를 측정하였다. 능동관절가동범위는 운동 전, 24시간, 48시간에 걸쳐 총 3회 측정하였다(Blonna 등, 2012)(Figure 3).

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 I 은 23.40±4.38세, 실험군 II는 22.30±0.17세였

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

다. 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>.

2. MVIC

집단 간에 MVIC 차이를 반복측정 분산분석을 실시한 결과, 집단 내 효과검정에서 시간에서는 통계학적으로 유의한 차이가 있었고($p<.001$), 시간과 집단 간에 유의한 교호작용이 있었으며($p<.001$), 집단 간 효과검정에서도 유의한 차이가 있었다($p<.001$). Tukey의 사후검정 결과, 실험군 II가 다른 군에 비해 MVIC가 높게 나타나 더욱 효율적인 것을 알 수 있었다<Table 2>.

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

Items	Control group (n=10)	E- I group (n=10)	E- II group (n=10)	post-hoc ^{''}
pre	15.66±4.25 ^a	15.78±1.31	15.70±2.55	
post-24h	9.12±0.70	9.01±1.29	13.74±0.88	
post-48h	9.83±1.55	9.57±2.10	15.08±2.37	
F'	27.638	18.421	10.379	
P	time: .000*	time×group: .000*	group: .000*	E II>E I>C

^aM±SD (kg), * $p<.001$, '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. EROM

집단 간에 폼각도의 차이를 반복측정 분산분석을 실시한 결과, 집단 내 효과검정에서 시간에서는 통계학적으로 유의한 차이가 있었고($p<.001$), 시간과 집단 간에서도 유의한 교호작용이 있었으며($p<.001$), 집단 간 효과검정에서도 유의한 차이가 있었다($p<.001$). Tukey의 사후검정 결과, 실험군 II가 다른 군에 비해 낮게 폼각도가 나타나 더욱 효과적인 것을 알 수 있었다<Table 3>.

Table 3. Comparison of the change in the range of motion (Extension) among groups

Items	Control group (n=10)	E- I group (n=10)	E- II group (n=10)	post-hoc ^{''}
pre	1.46±5.38 ^a	1.35±2.29	1.42±1.29	
post-24h	2.62±.45	1.85±3.82	1.95±3.07	
post-48h	7.09±0.78	4.33±2.38	3.42±3.69	
F'	393.337	13.550	19.782	
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. FROM

집단 간에 굽힘각도의 차이를 반복측정 분산분석을 실시한 결과, 집단 내 효과검정에서 시간에서는 통계학적으로 유의한 차이가 있었고($p<.001$), 시간과 집단 간에서도 유의한 교호작용이 있었으며($p<.001$), 집단 간 효과검정에서도 유의한 차이가 있었다($p<.05$). Tukey의 사후검정 결과, 실험군 II가 다른 군에 비해 굽힘각도가 높게 나

타나 더욱 효율적인 것을 알 수 있었다<Table 4>.

Table 4. Comparison of the change in the range of motion (Flexion) among groups

Items	Control group (n=10)	E- I group (n=10)	E- II group (n=10)	post-hoc ^{''}
pre	141.13±3.77 ^a	137.50±4.17	145.20±8.89	
post-24h	112.40±5.42	111.12±7.12	112.87±11.35	
post-48h	126.10±6.76	127.49±2.55	130.3±7.88	
F'	42.729	17.557	15.187	
P	time: .000**	time×group: .000**	group: .034*	C<E I <E II

^aM±SD (U/L), **p*<.05, ***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. 고찰

운동 유발성 근육 손상은 강도 높은 신체활동에 참여하거나, 근육의 길이 변화와 장력 발생이 큰 신장성 운동 (eccentric exercise)에 의해 주로 발생되며, 근육경련(spasm), 결합조직(connective tissue)손상, 염증(inflammation), 그리고 효소 방출 등의 생화학적 변화가 관여함으로써 근육의 손상이 유발된다(Nosaka와 Newton, 2002; Proske와 Allen, 2005). 일반적으로 운동으로 인한 근육 손상 후 근력이 회복되기까지는 4일 정도 소요되지만 신장성 수축 후에는 8~10일 정도가 소요되며(Proske 등, 2003), 근력감소의 원인에는 운동수행에 따른 근 손상, 젖산 생성 및 수소이온 증가, 원활하지 못한 체내의 산소 공급, 미주신경의 비활성화로 인한 심박수 증가, 신경전달물질의 변화, 혈류량 증가, 운동수행능력 감소 등이 있다(Gladden, 2004; Macedo 등, 2009; Nalbandian와 Takeda, 2016; Wan 등, 2017; Theofilidis 등, 2018).

특히 WBC는 국소적 진통 작용뿐만 아니라, 신경전도 속도를 감소시키고, 대사 효소의 활성을 억제한다고 알려져 있다(Chesterton 등, 2002). Hauswirth 등(2011)은 EIMD 후 WBC(-110°C, 3분)를 3회 적용한 결과 근력을 향상시키고 근육통을 감소시켰다고 보고하였고, Fonda와 Sarabon(2013)은 뒤넙다리근 손상 운동 후 WBC(-140 ~ -190°C, 3분)를 5회 적용한 결과 최대 토크 회복, 토크 발달 속도, 스퀴트 점프 시작 파워, 근육통 감소에 효과적이라고 하였으며, 또한 Pournot 등(2011)은 EIMD 후 WBC(-110°C, 3분)를 3회 적용한 결과 염증 반응을 줄이는 데 효과적이라고 하였다. 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.

최대등척성근력은 근육 기능의 감소된 정도를 나타내는 근육 손상의 전형적이고 수량화할 수 있는 지표로서 마이오필라멘트의 분열된 상태 및 근섬유의 수와 연관되어 신뢰도가 매우 높은 것으로 알려져 있다(Warren 등, 2007; Turner 등, 2008). 본 연구에서 EIMD 유발 전·후 WBC를 적용한 결과 모든 군에서 실험 전, 24시간, 48시간 후에서 MVIC의 유의한 감소가 보였다(*p*<.001). 또한 위팔두갈래근의 EIMD의 유발 전·후에 WBC를 적용한 결과 시기별과 시기와 집단 간에도 유의한 교호작용이 있었으며(*p*<.001), 사후 검정 결과 EIMD 유발 후 WBC 적용군이 다른 군에 비해 MVIC가 높게 나타나 근력의 회복에 더욱 효율적인 것을 알 수 있었다(*p*<.001). Hauswirth(2011)는 마라톤 선수 9명을 대상으로 EIMD 유발 후 원적외선, 수동운동, WBC를 적용한 결과, WBC를 적용한 군에서 MVIC가 유의하게 증가된다고 하였고(*p*<.05), Burke 등(2000)은 엉덩관절주름(gluteal fold)까지 CWI(8°C)를 적용한 결과 대조군에 비해 엉덩관절굽힘근의 MVIC가 유의하게 증가된다고 하였다(*p*<.05). Hauswirth(2011)의 연구와 Burke 등(2000)은 본 연구와 실험 방법과 중재 방법 및 중재 부위에 차이가 있어 직접

적인 비교는 어려웠으나 본 연구와 유사한 결과를 도출하였다. 이와 같은 결과에 있어 Hopkins와 Stencil(2002)은 냉요법이 운동뉴런동원 역치점(α -motor neuron recruitment)을 감소시켜 운동유닛(motor unit)의 숫자와 운동뉴런 풀 흥분성(motor neuron pool excitability) 그리고 근 활성빈도를 증가시킨다고 하였으며, Pietrosimone와 Ingersoll(2009)은 온도변화로 인해 증가한 구심성 신호(afferent sensory input)가 중추신경(spinal or supraspinal level)에 도달하여 운동뉴런 억제성 신호(inhibitory synaptic signal)의 전달을 억제하여(masking) 근력의 소실을 줄여 근력을 회복시킨다고 하여 본 연구를 지지하여 주고 있다.

Fridén 등(1988)의 연구에 따르면 근피로는 관절운동범위를 감소시켜 근육의 펌과 굽힘 시 발휘되는 힘이 저하된다고 하였으며, Cleak와 Eston(1992)은 근피로 유발 운동 후 관절가동범위가 운동 전보다 감소된다고 하였다. 본 연구에서 EIMD 유발 전·후 WBC를 적용 후 집단 내 펌 각도 차이를 분석한 결과, 모든 군에서 실험 전, 24시간, 48시간에서 유의한 차이가 있었고($p<.001$), 집단 간에 펌 각도 차이를 분석한 결과, 시기와 집단에서도 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 펌 각도가 낮게 나타났다. 또한 집단 내 굽힘 각도 차이는 모든 군에서 실험 전, 24시간, 48시간에서 유의한 차이가 있었고($p<.01$), 집단 간에 굽힘 각도의 차이를 분석한 결과, 시기와 집단 간 에도 유의한 교호작용이 있었으며($p<.001$), 집단 간 효과검정에서도 유의한 차이가 있어($p<.05$), 사후 검정을 실시한 결과, EIMD 유발 후 WBC 적용군이 다른 군에 비해 굽힘 각도가 높은 것으로 나타났다. 이만균 등(2008)은 대학생 9명을 대상으로 등속성 수축을 이용하여 근 통증을 유발시킨 후 냉치료를 적용한 결과 관절가동범위가 유의하게 증가된다고 하였고 ($p<.05$), 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 보고하여($p<.01$) 본 연구와 유사한 결과를 도출하였다. 이와 같은 결과에 있어 Lehmann 등(1974)은 냉은 통증을 완화시키고 근 경련을 감소시켜 신장력을 더욱 증가시키며, 근육 수축을 감소시킴으로 인해 관절운동범위를 증가시킨다고 보고하여 본 연구 결과를 지지하여 주고 있다.

이상의 결과를 통해 위팔두갈래근의 EIMD 유발 전·후 WBC 적용이 MVIC, ROM에 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 MVIC, ROM변화를 집단 그리고 시기 및 집단별로 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

EIMD 유발 전·후 WBC를 적용한 결과 모든 군에서 실험 전, 24시간, 48시간 후에서 MVIC의 유의한 차이를 보였다($p<.001$). 또한 집단 간MVIC를 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 MVIC가 높게 나타났다($p<.001$). 또한 EIMD 유발 전·후 WBC를 적용한 결과 모든 군에서 실험 전, 24시간, 48시간 후에 펌각도는 모든 군에서 유의한 차이가 있었다($p<.001$). 또한 집단 간에 펌각도 차이를 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 펌각도가 낮게 나타났다. 그리고 EIMD 유발 전·후 WBC를 적용한 결과 집단 내 굽힘각도는 모든 군에서 실험 전, 24시간, 48시간에서 유의한 차이가 있었고($p<.01$), 또한 집단 간에 굽힘각도의 차이를 분석한 결과, 시간과 집단 간에도 유의한 교호작용이 있었으며($p<.001$), 집단 간 효과검정에서도 유의한 차이가 있어($p<.05$), 사후검정을 실시한 결과, EIMD 유발 후

WBC 적용군이 다른 군에 비해 곱힘 각도가 가장 높게 나타났다.

이상의 결과를 통해 위팔두갈래근의 EIMD 유발 전·후 적용된 WBC가 MVIC, ROM에 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

- 장태웅, 박정배. 인위적 지연성 근통증 유발 후 저온침수 스트레칭이 라이프케어를 위한 근통증 지표 및 운동기능에 미치는 영향. 한국엔터테인먼트산업학회논문지 2008;12(8):317-26.
- 김근조, 이규리, 정병욱, 등. 자연치유와 경피신경전기자극치료, 그리고 냉치료가 지연성근육통이 유발된 위팔두갈래근의 통증과 근력 및 근활성도에 미치는 영향. 한국산학기술학회 논문지 2009;10(12):3902-9.
- 김덕조, 최원재, 손경현. 고압산소치료가 지연성근육통의 통증, 관절운동범위 및 근피로 회복에 미치는 영향. 대한물리치료과학회지 2019;26(2):1-60.
- 김동훈, 김경훈. 넵다리네갈래근 근 피로 유발 후 키네시오 테이핑 적용이 근력과 균형에 미치는 즉각적 효과. 대한물리치료과학회지 2020;27(1):43-50.
- 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.
- 송현호, 김주영, 이철현, 등. 운동유발성 근육 손상 후 진동운동 적용이 근육 손상 지표에 미치는 영향. 코칭능력개발지 2011;13(1):179-88.
- 오세민, 전재근, 유병국, 등. 운동유발성 근육손상 전 맥동초음파 적용이 통증과 근피로대사산물에 미치는 효과. 한국엔터테인먼트산업학회논문지 2016;10(5):81-8.
- 이만균, 엄지수, 성순창, 등. 냉치료가 등속성 수축 후의 지연성 근통증 관련 변인과 체력에 미치는 영향. 한국체육학회지 2008;47(5):373-83.
- 이성진, 오환희, 채지수, 등. 치료적 마사지와 맥켄지 운동이 만성 경부통 환자의 통증과 관절가동범위에 미치는 영향: 단일사례연구. 대한물리치료과학회지 2017;24(2):61-70.
- 이수영. 유지-이완 주동근 수축기법과 경피신경전기자극의 지연성 근육통 치료 효과[박사학위논문]. 연세대학교; 2006.
- 이영신, 배세현. 한냉과 온열의 적용 시간과 전달 방식이 장딴지근의 근 활성도에 미치는 영향. 대한물리의학회지 2017;12(2):1-8.
- 최기선. 4주간의 웨이트트레이닝이 근력향상 및 혈중 근손상 지표 변화에 미치는 영향[석사학위논문]. 연세대학교; 2008.
- 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.
- Banfi G, Lombardi G, Colombini A, et al. Whole-body cryotherapy in athletes. Sports Med 2010;40(6):509-17.

- Blonna D, Zarkadas PC, Fitzsimmons JS, et al. Accuracy and inter-observer reliability of visual estimation compared to clinical goniometry of the elbow. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2012;20(7):1378-85.
- 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.
- 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):21-25.
- Brancaccio P, Lippi G, Maffulli N. Biochemical markers of muscular damage. *Clin Chem Lab Med* 2010;48(6):757-67.
- Byrne C, Eston RG, Edwards RH. Characteristics of isometric and dynamic strength loss following eccentric exercise-induced muscle damage. *Scand J Med Sci Sports*. 2001;11(3):134-40.
- Chesterton LS, Foster NE, Ross L. Skin temperature response to cryotherapy. *Arch Phys Med Rehabil* 2002;83(4):543-9.
- Cheung K, Hume P, Maxwell L. Delayed onset muscle soreness : treatment strategies and performance factors. *Sports Med* 2003;33(2):145-64.
- Cleak MJ, Eston RG. Muscle soreness, swelling, stiffness and strength loss after intense eccentric exercise. *Br J Sports Med* 1992;26(4):267-72.
- 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.
- 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.
- 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.
- Fridén J, Seger J, Ekblom B. Sublethal muscle fibre injuries after high-tension anaerobic exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1988;57(3):360-8.
- Gladden LB. Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. *J Physiol* 2004;558(Pt 1):5-30.
- Hammouda O, Chtourou H, Chahed H, et al. Diurnal variations of plasma homocysteine, total antioxidant status, and biological markers of muscle injury during repeated sprint: effect on performance and muscle fatigue--a pilot study. *Chronobiol Int* 2011;28(10):958-67.
- 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.
- Hilbert JE, Sforzo GA, Swensen T. The effects of massage on delayed onset muscle soreness. *Br J Sports Med* 2003;37(1):72-5.
- 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.
- Hopkins JT, Stencil R. Ankle cryotherapy facilitates soleus function. *J Orthop Sports Phys Ther* 2002;32(12):622-7.
- Howatson G, van Someren KA. The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. *Sports Med* 2008;38(6):483-503.
- Lehmann JF, Warren CG, Scham SM. Therapeutic heat and cold. *Clin Orthop Relat Res* 1974;(99):207-45.
- Macedo DV, Lazarim FL, Catanho da Silva FO, et al. Is lactate production related to muscular fatigue? A pedagogical proposition using empirical facts. *Adv Physiol Educ* 2009;33(4):302-7.
-

- 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.
- Miller PC, Bailey SP, Barnes ME, et al. The effects of protease supplementation on skeletal muscle function and DOMS following downhill running. *J Sports Sci* 2004;22(4):365-72.
- Nalbandian M, Takeda M. Lactate as a Signaling Molecule That Regulates Exercise-Induced Adaptations. *Biology (Basel)* 2016;5(4):38.
- 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, Newton M. Concentric or eccentric training effect on eccentric exercise-induced muscle damage. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(1):63-9.
- Pietrosimone BG, Ingersoll CD. Focal knee joint cooling increases the quadriceps central activation ratio. *J Sports Sci* 2009;27(8):873-9.
- Pournot H, Bieuzen F, Louis J, et al. Time-course of changes in inflammatory response after whole-body cryotherapy multi exposures following severe exercise. *PLoS One* 2011;6(7):e22748.
- Proske U. Muscle tenderness from exercise: mechanisms? *J Physiol* 2005;564(Pt 1):1.
- Proske U, Allen TJ. Damage to skeletal muscle from eccentric exercise. *Exerc Sport Sci Rev* 2005;33(2):98-104.
- Proske U, Weerakkody NS, Percival P, et al. Force-matching errors after eccentric exercise attributed to muscle soreness. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 2003;30(8):576-9.
- 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):2243-2250.
- Theofilidis G, Bogdanis GC, Koutedakis Y, et al. Monitoring Exercise-Induced Muscle Fatigue and Adaptations: Making Sense of Popular or Emerging Indices and Biomarkers. *Sports (Basel)* 2018;6(4):153.
- Turner TS, Tucker KJ, Rogasch NC, et al. Impaired neuromuscular function during isometric, shortening, and lengthening contractions after exercise-induced damage to elbow flexor muscles. *J Appl Physiol* 2008;105(2):502-9.
- Vickers AJ, Fisher P, Smith C, et al. Homoeopathy for delayed onset muscle soreness: a randomised double blind placebo controlled trial. *Br J Sports Med* 1997;31(4):304-7.
- Wan JJ, Qin Z, Wang PY, et al. Muscle fatigue: general understanding and treatment. *Exp Mol Med* 2017;49(10):e384.
- Warburton DE, Nicol CW, Bredin SS. Health benefits of physical activity: the evidence. *CMAJ* 2006;174(6):801-9.
- 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.
- 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.