회복 처치 방법에 따른 주짓수 모방 시합 중과 후의 신체수행력 및 염증반응

박종현¹ MS, 이상현¹ PhD, 김수진¹ MS, 송정란¹ PhD, 곽효범¹ PhD, 강주희² PhD, 박동호¹ PhD

¹인하대학교 스포츠과학과, ²인하대학교 의과대학 약리학교실

Physical Performance and Inflammation Responses during and after the Jiu-Jitsu Stimulated Match according to Recovery Treatment Methods

Jong-Hyun Park¹ MS, Sang-Hyun Lee¹ PhD, Su-Jin Kim¹ MS, Jung-Ran Song¹ PhD, Hyo-Bum Kwak¹ PhD, Ju-Hee Kang² PhD, Dong-Ho Park¹ PhD

¹Department of Kinesiology, Inha University, Incheon; ²Department of Pharmacology and Medicinal Toxicology Research Center, College of Medicine, Inha University, Incheon, Korea

PURPOSE: The purpose of this study was to induce sufficient fatigue through the Jiu-Jitsu game imitation exhaustion treatment that reflects the characteristics of Jiu-Jitsu competition, and then fatigue-related indicators according to the self-healing treatment method performed during the break between each treatment and to examine the effect on Jiu-Jitsu exercise performance.

METHODS: Eight Jiu-Jitsu athletes (28.3 ± 3.62 years, 24.6 ± 2.5 kg/m², $14.6 \pm 4.6\%$ fat) participated in the study, and their exercise performance, RPE, lactate, CK, and CRP were measured after inducing exhaustion using the Jiu-Jitsu Fight Gone Bad (JFGB; 4 rounds $\times$ 6 minutes JFGB, 12 minutes of recovery between rounds) test. These variables analyzed using two-way ANOVA with bonferroni's correction.

RESULTS: All the exercise performance, lactate level, and RPE showed only the difference over time according to JFGB treatment, and there was no significant difference according to recovery methods (passive recovery; PR, active recovery; AR, cryotherapy; CTR, oxygen inhalation; OIR). On the other hand, in the case of CRP, there was no significant difference in interaction effect, group, and time main effects. CK showed a significant difference only before and after JFGB treatment, but similarly, there was no difference according to recovery methods.

CONCLUSIONS: Regardless of the recovery method, all variables showed a significant difference only over time according to the JFGB test, and the AR, CTR, and OIR methods were similar to the PR. However, it was observed that in the case of CK, immediately after the JFGB test, it increased significantly regardless of recovery measures.

Key words: Recovery method, Passive recovery, Active recovery, Cryotherapy, Oxygen inhalation

서론

브라질리언 주짓수는 간헐적으로 고강도와 저강도 운동이 이루어

지는 것으로 특징지어지는 격투스포츠로 분류된다[1,2]. 잡기, 던지기, 그라운드 그래플링, 조르기 및 관절기 등 방식의 차이가 있지만 레슬링이나 유도와 비슷하다[1]. 이러한 차이점 외에도 브라질리언 주짓수

Corresponding author: Dong-Ho Park Tel +82-2-940-4507 Fax +82-2-940-4502 E-mail dparkosul@inha.ac.kr

*이 연구는 2019년도 인하대학교 교내연구비로 수행되었음.

Keywords 주짓수, 회복방법, 수동적회복, 능동적회복, 아이싱, 고농도산소

Received 30 Jun 2020 **Revised** 23 Jul 2020 **Accepted** 3 Aug 2020

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

경기의 시간 구조는 유도 및 레슬링과 다른 것으로 보고된다. 따라서 경기 중 이루어지는 움직임과 휴식의 패턴이 각 스포츠별로 차이가 있다[3]. 최근 스포츠 과학화의 중요성이 대두되면서 경기력 향상을 위한 과학적인 접근이 활발한데, 그 중 하나가 신속한 피로회복 방법에 관한 연구이다. 주짓수의 경우 대회에 나서는 선수는 시합을 치른 후 시합시간의 두 배에 해당하는 시간을 휴식시간으로 보장받는다[4]. 주짓수 선수는 제한된 공간 안에 머무르며 개인적으로 다음 시합을 준비해야하는데 이 사이에 직전 시합에서 얻은 피로를 최대한 해소하고 체력을 회복하는 것이 매우 중요하다.

Kim [5]은 유도 선수를 대상으로 최대운동 후 산소섭취형태(액화산소섭취, 고농도산소섭취 및 대기산소섭취)에 따른 산화스트레스 지표를 검토하였고, 액화산소섭취 및 고농도산소섭취가 대기산소섭취보다 회복시기에서 유의한 차이를 보여 운동 후 회복에 더 효과적이라고 하였다. Kim et al. [6]은 고강도 운동 후 회복방법으로, 고강도 운동 후 수동적 휴식, 수동적 휴식과 산소흡입(산소농도 99.5%), 능동적 운동(최대산소섭취량의 40%), 능동적 운동과 산소흡입 4가지 휴식방법으로 나누어 처치한 결과, 운동 후 활동성 회복 그룹이 수동적 회복 그룹에 비하여 젖산농도가 빠르게 감소하였으나 산소호흡 그룹과 대기호흡 집단에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다. Verducci [7]은 역도운동에서 세트와 세트 사이에 아이싱을 시행하였을 경우 체온보온처치에 비하여 훨씬 더 많은 들기 횟수를 기록했다고 하였고, Yoo et al. [8]은 태권도선수를 대상으로 태권도 모의시합을 통하여 시합 간 아이싱그룹과 마사지그룹이 비처치그룹에 비하여 안정 시 심박수와 혈중 젖산농도는 낮고 체력수준은 높게 유지된다고 보고하였다. Son et al. [9]은 중거리 사이클 경기 후 말초부위 냉각과 활동적 페달링 회복이 말초부위 냉각회복이 효과적으로 혈중 젖산 농도를 감소시키지 못하였지만 처치 후 평균 페달링 파워의 향상을 가져와 경기력 향상에 도움을 주는 회복전략이라 하였고, Bogdanis et al. [10]은 고강도 전력질주 사이클 연습에서 질주 간 저강도 운동을 해줌으로써 운동수행력 회복을 높여준다고 하였다. 반면에 Son [11]은 말초부위 냉각회복이 주짓수 선수들의 최대파워, 평균파워, 운동총량, 피로지수 등과 같은 무산소성 운동능력에 영향을 미치지 않는다고 보고하였고, Lee et al. [12]은 고등부 복싱 남자선수 8명을 대상으로 한 연구에서 운동 후 활동성 회복방법과 수동적 회복방법, 얼음마사지회복방법, 스포츠마사지회복방법 등 총 4가지 회복방법을 비교한 후, 혈중 젖산농도와 복싱에서 경기력 평가에 가장 중요한 요인인 전신반응시간에서 유의한 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다.

이처럼 기존의 피로물질이나 시간에 따른 회복에 관한 연구가 이루어져 왔으나 그 결과의 일관성을 찾을 수 없었다. 연구방법 또한 단순한 에로고미터에 의한 all-out 처치가 대부분이고 종목 특성을 살린 연구들이 있지만 유도, 사이클, 복싱 등 타 스포츠에 대한 연구가 이루어

져 왔으며, 주짓수에 관한 연구의 경우에도 객관적으로 운동량을 측정할 수 없는 가상 시합을 통한 젖산 측정 정도에 그쳐 주짓수의 특성을 반영한 과학적이고 객관적인 평가가 가능한 운동수행력 테스트나 자가회복처치 테스트에 관한 연구가 미비한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 주짓수 선수를 대상으로 주짓수의 특성을 반영한 주짓수 시합모방 탈진처치를 통해 충분한 피로를 유도한 후 각 처치 사이 휴식시간에 시행하는 자가 회복처리방법에 따른 피로 관련 지표(혈중 젖산, CK 등) 그리고 주짓수 운동수행력에 미치는 효과를 살펴보는 데 있다.

연구 방법

1. 연구대상

이 연구는 기관윤리위원회(IRB)의 윤리적 기준에 따라 수행하였다. 실험 참여 전 피험자들에게 위험요인들과 실험에 대한 목적과 내용들을 충분히 설명하였고, 참여 동의를 구한 후 실험을 실시하였다. 연구 대상자는 인천, 서울을 포함한 수도권 지역 체육관에서 전문적으로 주짓수를 수련한 남성 주짓수 선수 8명이었다. 실험 참가자들의 수준은 블루벨트 이상, 수련기간은 4년 이상, 주당 수련일수는 4일 이상, 주당 수련시간은 8시간 이상, 전국 주짓수 대회에서 입상한 경력이 있는 선수들을 선별하였다. 본 연구에서 피험자의 신체적 특징은 Table 1과 같다.

2. 연구설계

본 연구는 8명의 주짓수 선수들을 대상으로 Jiu-Jitsu Fight Gone Bad (JFGB) 테스트를 이용하여 운동수행능력을 측정하였다. 참가자들은 이월 효과(carry over effect)를 방지하기 위하여 테스트가 익숙해지도록 실험과 동일한 조건으로 실험 전 4주간 주 1회 사전 연습을 한 후 매 테스트마다 실험군을 4그룹으로 나누어 교차 배정(counter-balanced design)하였다. 실험 전에 참가자들은 일반적인 스트레칭 5분과 특정 주짓수 운동 5분으로 구성된 10분 표준화 워밍업을 수행하였다. 이후, 각 피험자는 운동수행능력 측정을 위해 JGB 테스트를 수행하였

Table 1. Characteristics of participants

Variables	Mean $\pm$ SD (N=8)	Range
Age (yr)	28.25 $\pm$ 3.62	24.00-33.00
Height (cm)	176.63 $\pm$ 3.58	170.00-181.00
Weight (kg)	76.76 $\pm$ 8.62	64.50-90.00
BMI (kg/m ²)	24.59 $\pm$ 2.48	20.10-27.60
Muscle mass (kg)	37.21 $\pm$ 3.09	33.40-42.20
Fat mass (kg)	11.44 $\pm$ 4.50	5.40-18.50
Percent fat (%)	14.58 $\pm$ 4.61	6.10-28.00
HRmax (bpm)	191.63 $\pm$ 3.62	187.00-196.00
VO ₂ max (mL/kg/min)	48.23 $\pm$ 4.50	41.01-52.98

으며, 대회가 16강, 8강, 준결승, 결승, 총 4회의 시합을 치른다는 가정 하에 총 4라운드 테스트를 실시하였다. 운동수행시간은 한 라운드당 6분이며 라운드와 라운드 간 휴식 및 처치시간은 토너먼트 대기시간 및 “준결승 전후 및 결승전 사이 휴식시간은 시합시간의 최소 2배를 준다”는 주짓수 대회규정에 따라 12분으로 정하여 실시하였다. 혈중 젖산 농도는 안정 시, 1라운드 1분 전, 1라운드 1분 후, 2라운드 1분 전, 2라운드 1분 후, 3라운드 1분 전, 3라운드 1분 후, 4라운드 1분 전, 4라운드 1분 후, 실험 회복기 30분 후, 총 10회에 걸쳐 채취하였으며 기타 혈액변인은 안정 시와 4라운드 직후, 총 2회에 걸쳐 채취하였다. 본 연구에서의 실험설계는 Fig. 1과 같다.

3. 측정방법

1) 사전검사 및 관찰변인

신장계(HIE-401, KOR)와 체중계(DB-60H, CAS, Korea)를 이용하여 각각 신장 및 체중을 측정하였다. 신체조성은 체성분 분석기(InBody, InBody620, Korea)를 이용하여 측정하였다. 최대산소섭취량($VO_2\max$)의 측정은 트레드밀을 이용한 최대점증부하 방식으로, 대상자들은 무선심박측정기(POLAR, Newyork, USA)를 착용하고 10분 동안 안정을 취한 후 심폐 기능분석장치(Quark b², COSMED, Italy)를 이용하여 $VO_2\max$ 를 측정하였다. GXT는 일반 남성을 대상으로 하는 KSSI 프로토콜(체육과학연구원)을 이용하였다. 측정 중에는 심박수, 호흡교환율, 운동자각도, 산소섭취량 등을 체크하면서 달리기 지속 여부를 수시로 확인하고, 대상자의 최대 운동상태(All-out)를 유도하였다. $VO_2\max$ 는 아래의 기준이 세 가지 이상 포함될 때로 하였다: ① 운동 중 심박수가 나이로 추정된 최대심박수($206.9 - [0.67 \times \text{나이}]$) [13]의 ± 10 bpm 안에 있을 때, ② 호흡 교환율(RER) > 1.1 , ③ 운동자각도가 17 이상일 때, ④ 운동 부하가 증가됨에도 불구하고 산소섭취량(VO_2)의 수준이 항정 상태에 있을 때로 간주하였다.

혈액 변인으로는 젖산, Creatine kinase (CK), C-reactive protein (CRP)

등이었다. 젖산은 finger-tip방법으로, 손가락 끝 모세혈관에서 채혈을 하는 방식으로, 안정 시, 1라운드 1분 전, 1라운드 1분 후, 2라운드 1분 전, 2라운드 1분 후, 3라운드 1분 전, 3라운드 1분 후, 4라운드 1분 전, 4라운드 1분 후, 회복기 30분 후, 총 10회 혈액을 채취하여 자동젖산분석기(YSI 1500-L, YSI, USA)를 사용하여 측정하였다. CK와 CRP 농도는 안정 시와 4라운드 종료 직후, 총 2회에 걸쳐 각각 3 mL의 혈액을 정맥 채혈을 통하여 수집하였으며, 각각 전용시약을 사용하여 UV assay와 TIA 검사 Cobas C702 (Roche, Germany) 분석기를 이용하여 분석하였다.

2) 운동수행력검사 JFGB Test

총 6가지 동작으로 ① Bar Cross Lateral Jump and Sprawl, ② Bar Hanging Kimono Holding, ③ 4 Step Turtle Control on the top position, ④ Gi Grip Jump over and roll back from top position on the turtle, ⑤ Jump over the Vaulting horse and Tackle, ⑥ Rolling Drill between the leg를 각 1분씩 총 6분간 수행 후, 12분 휴식을 취하는 것을 한 라운드로 총 4라운드를 진행하고, 각 라운드별 합(counts) 그리고 4라운드 총합을 기록하여 운동수행력을 평가하였다. 동작의 카운트는 각 동작의 정확성을 기준으로 하였고, 피험자 한 명당 한 명의 보조자를 두어 동작의 보조 및 정확한 동작과 부정확한 동작을 판단하여 일차로 기록하며, 설치된 카메라를 통해 동작의 정확성 및 카운트의 정확성을 재확인하여 이차로 기록하였다.

3) 회복처치 방법

활동성 회복처치는 시합장에서 넓은 공간을 사용할 수 없고 탈진에 가까운 운동을 수행하기 때문에 옆으로 걷는 수준의 왕복 사이드 스텝과 팔벌리기를 10분간 실시하였다. 아이싱 처치는 냉동고를 사용할 수 없고 타인 및 타 기기의 도움받을 수 없는 주짓수 시합장 여건에 맞추어 아이스팩 아이싱을 실시하였고 실험 시작 전 아이스팩을 상온에 꺼내 놓고 끝날 때까지 같은 아이스팩(얼음공공, Korea)으로 처치하였

Fig. 1. Experimental design. Jiu-Jitsu Fight Gone Bad (JFGB) consists of a total of 6 movements as follows; ① Bar Cross Lateral Jump and Sprawl, ② Bar Hanging Kimono Holding, ③ 4 Step Turtle Control on the top position, ④ Gi Grip Jump over and roll back from top position on the turtle, ⑤ Jump over the Vaulting horse and Tackle, ⑥ Rolling Drill between the leg. One round is performed for 6 minutes by performing 6 movements for 1 minute, and a total of 4 rounds are performed, and 12 minutes are rested between each round.

다. 처치방법은 양손바닥 사이와 양발바닥 사이를 아이스팩으로 30초씩 번갈아가며 10분간 실시하였다. 고농도 산소공급 처치는 산소호흡 처치 시 동일한 양의 산소호흡을 위하여 순도 99.5% 이상의 산소가 18L 들어있는 산소 캔과 산소호흡기를 사용하여 분당 1.8 L의 분출량으로 10분간 산소를 호흡하였으며, 피험자들의 자세는 바닥에 등을 대고 편하게 누운 상태로 진행하였다.

4. 자료처리방법

본 연구의 자료처리는 SPSS 18.0.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 통계 프로그램을 이용하였다. 각 변인들에 대한 기술통계치인 평균±표준편차(Mean±SD)를 산출하여 제시하였다. 각 종속변인들(lactate, CK, 운동수행력 변인 등)은 이원변량 분산분석(two-way repeated measure ANOVA)을 실시하였다. 처치에 따른 측정변인의 유의한 효과가 나타났을 때 사후분석(post-hoc)은 분석 변인에 따라 일원변량분석(one-way repeated measure ANOVA) 또는 종속(paired) *t*-test를 이용하여 분석하였다. 모든 검정의 통계적 유의수준(α)은 .05로 설정하였다.

연구결과

본 연구는 8명의 주짓수 선수들을 대상으로 주짓수 모의시합인 4라운드 JFGB 테스트를 이용하여 피로축적을 유도하고 라운드 사이 자가 회복처치(무처치, 활동성 회복, 아이싱, 고농도 산소공급)에 따른 운동수행력, 운동자각도, 혈중 젖산농도, 크레아틴키나아제(creatine kinase, CK), c-reactive protein (CRP)의 변화를 측정하고 후 비교, 분석하였다. 이 분석을 통해 주짓수 모의시합에서 라운드 사이 자가회복처치가 주짓수 운동수행력 및 피로물질변화에 어떤 영향을 미치는가를 검토하였다.

1. 운동수행력 및 운동자각도

4라운드의 JFGB 운동프로그램을 수행하는 동안 처치(비처치, 활동성 회복, 아이싱, 고농도 산소공급)에 따른 각 라운드별 카운트를 운동량으로 기록하였다(Table 2). JFGB 테스트를 실시 후 처치별 운동수행

력은 상호작용효과나 처치에 따른 주효과에서는 유의한 차이가 없었으나 시기($p=.000$)에서는 유의한 차이가 나타났다.

회복처치별 운동자각도(rating of perceived exertion, RPE)에 대한 차이를 알아보기 위해 4라운드의 JFGB 검사에 따른 RPE의 변화 역시도 운동량과 마찬가지로 상호작용효과 및 처치에 대한 주효과는 나타나지 않았으나 JFGB 전후의 시기($p=.000$)에서 유의한 차이가 나타났다(Fig. 2). 따라서 JFGB 테스트 시 수행한 평균 운동량($p=.528$)과 평균 RPE($p=.533$)에 대한 처치별 차이를 검토해 보았으나 유의한 차이는 나타나지 않았다(Fig. 3).

2. 젖산 및 혈중 변인

회복 처치에 따른 혈중 젖산농도를 비교하기 위해 안정 시, 1라운드 시작 1분 전, 1라운드 종료 1분 후, 2라운드 시작 1분 전, 2라운드 종료 1분 후, 3라운드 시작 1분 전, 3라운드 종료 1분 후, 4라운드 시작 1분 전, 4라운드 종료 1분 후, 회복기 30분 후, 총 10회 걸쳐 손가락 끝 모세혈

Fig. 2. RPE response before and after the Jiu-Jitsu Fight Gone Bad (JFGB) test including baseline for each of the four recovery treatments. PR, Passive recovery; AR, Active recovery; CTR, Cryotherapy recovery; OIR, Oxygen inhalation recovery. a = comparison with baseline; b = comparison with 1 R 1 min-Pre; c = comparison with 1 R 1 min-Post; d = comparison with 2 R 1 min-Pre; e = comparison with 2 R 1 min-Post; f = comparison with 3 R 1 min-Pre; g = comparison with 3 R 1 min-Post; h = comparison with 4 R 1 min-Pre; i = comparison with 4 R 1 min-Post; j = comparison with 30 min Post. * $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$.

Table 2. Comparison of exercise amounts performed during JFGB test according to recovery methods

Recovery methods	Round				F	p
	1st	2nd	3rd	4th		
PR	109.13±14.32	102.13±16.06	92.25±21.81 ^{b*}	101.13±15.28	Group = 1.455 Time = 18.190 G×T = .772	G = .255 T = .000 G×T = .643
AR	117.50±19.76 ^{a*}	105.88±20.65	102.50±18.11 ^{b*}	106.50±24.49		
CTR	115.38±16.04 ^{a*}	107.63±17.05	103.50±20.01 ^{b*}	106.00±20.34 ^{c**}		
OIR	113.50±15.41 ^{***}	102.38±16.82	96.00±14.84 ^{b***}	102.13±17.08		

PR, Passive recovery; AR, Active recovery; CTR, Cryotherapy recovery; OIR, oxygen inhalation recovery.

* $p < .05$; ** $p < .01$; a = 1st vs. 2nd; b = 1st vs. 3rd; c = 1st vs. 4th; d = 2nd vs. 3rd; e = 2nd vs. 4th; f = 3rd vs. 4th.

관재혈을 통하여 혈중 젖산농도를 측정하여 분석한 결과를 Fig. 4에 제시하였다. JFGB 테스트를 실시 후 처치(비처치, 활동성 회복, 아이싱, 고농도 산소공급)별 혈중 젖산농도는 상호작용효과($p=.810$) 및 처치의 주효과($p=.580$)에서는 유의한 차이가 없었으나 시기($p=.000$)에서는 유의한 차이가 나타났다. 즉, 처치조건과 관계없이 매 라운드를 수행한 1분 후에 증가하였고, 일정 수준에서 라운드 사이의 회복 처치 방법과 무관하게 감소와 증가를 반복하였다.

크레아틴 키나아제(Creatine Kinase, CK)와 C-반응성단백(C-Reactive Protein, CRP)의 반응을 살펴보기 위하여 안정 시와 JFGB 테스트 4라운드 직후, 총 2회에 걸쳐 정맥채혈 후 분석하였다. 크레아틴키나아제는 JFGB 테스트를 실시 후 상호작용효과($p=.237$)를 포함한 처치에 따른 주효과($p=.256$)에서는 유의한 차이가 없었으나 시기($p=.028$)에서는 유의한 차이가 나타났다. 즉, 처치조건과 관계없이 안정 시와 비교하여 JFGB 테스트 4라운드 수행 직후에 증가하였다. 반면 CRP는 상호작용효과($p=.422$)를 포함한 처치($p=.464$) 및 시기($p=.351$) 모두에서 유의한 차이가 나타나지 않았다(Fig. 5).

Fig. 4. Blood lactate response before and after the the Jiu-Jitsu Fight Gone Bad (JFGB) test including baseline for each of the four recovery treatments. PR, Passive recovery; AR, Active recovery; CTR, Cryotherapy recovery; OIR, Oxygen inhalation recovery; a = comparison with baseline; b = comparison with 1 R 1 min-Pre; c = comparison with 1 R 1 min-Post; d = comparison with 2 R 1 min-Pre; e = comparison with 2 R 1 min-Post; f = comparison with 3 R 1 min-Pre; g = comparison with 3 R 1 min-Post; h = comparison with 4 R 1 min-Pre; i = comparison with 4 R 1 min-Post; j = comparison with 30 min Post. * $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$.

Fig. 3. The volume (counts) and RPE for each round performed during the the Jiu-Jitsu Fight Gone Bad (JFGB) test. (A) The exercise volume (counts) performed during JFGB test and (B) the RPE during JFGB test according to four different recovery methods. PR, Passive recovery; AR, Active recovery; CTR, Cryotherapy recovery; OIR, Oxygen inhalation recovery.

Fig. 5. Creatine kinase (CK) and C-reactive protein (CRP) responses at baseline and immediately after the Jiu-Jitsu Fight Gone Bad (JFGB) test. PR, Passive recovery; AR, Active recovery; CTR, Cryotherapy recovery; OIR, Oxygen inhalation recovery. * $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$.

DISCUSSION

본 연구는 주짓수 선수들을 대상으로 주짓수 모방 탈진 운동(JFGB 테스트)을 처치하여 다양한 회복처치(수동적 휴식, 활동성 휴식, 아이싱 처치, 고농도 산소공급)에 따른 회복 반응(운동수행력, 혈중 젖산농도 및 염증반응 등)을 검토하였다.

1. 회복 처치별 운동수행력, 운동자각도 및 혈중 젖산농도 반응

각 처치(수동적 회복, 활동성 회복, 아이싱 처치, 고농도 산소공급)에 따른 운동수행력의 차이를 알아보기 위하여 JFGB 테스트를 통하여 운동량, 운동자각도, 혈중 젖산 농도를 살펴보았으나 유의한 차이는 나타나지 않았다.

일반적으로 활동성 회복(active recovery)은 신진대사의 속도를 상승시키고 혈류 증가를 통하여 젖산의 산화를 가속시킬 뿐만 아니라 당 신생 과정을 촉진하기 때문에 운동으로 인한 피로 회복방법으로 추천되고 있다[14]. 아이싱 처치는 혈관을 수축시켜 조직으로 공급되는 혈액의 양을 감소시키고, 각 조직 내 세포의 대사율을 낮추어 염증 및 부종을 줄여주는 효과를 나타내고[15,16], 운동 후 아이싱 처치는 통증을 느끼게 하는 신경전달을 더디게 하고 말단신경의 흥분도를 둔화시켜 통증 및 피로자각도뿐만 아니라 혈중 CK 농도를 감소시키며[18], 체온의 상승을 지연시켜 운동능력을 향상시킬 뿐 아니라 운동지속시간을 증가시켰다고 보고되고 있다[19]. 한편, 고농도 산소공급(Oxygen Supply)기법이 운동수행력 및 피로회복력에 미치는 효과는 여전히 불명확하다. 일반적으로 고강도 운동으로 인해 산소의 공급량이 충분치 못할 때에 수축 근육에서의 산소결핍 현상이 발생하고, 무산소 해당작용을 통하여 에너지를 공급하게 되는 상황에서 젖산 생성은 증가한다. 이 과정에서 근육 내 축적된 젖산은 세포 내 산성화를 유발하고, 이는 근육축과 이완을 방해하여 운동수행력의 저하라는 부정적인 영향을 미치게[20]되는데, 고농도 산소공급(Oxygen Supply)이 이를 완화할 것이라는 논리적 배경에서 처치되고 있다. 즉, 이러한 회복처치방법은 수동적 회복보다 긍정적인 것이라는 측면에서 적용되고 있으나 본 연구에서의 4회 각 6분동안의 주짓수 모방 탈진운동 사이의 12분간의 휴식시간에 처치한 3차례의 회복처치 모두 수동적 처치와 유의한 차이가 나타나지 않았다.

일반적으로 활동성 회복 처치에 사용되는 강도는 최대산소섭취량(VO_{2max})의 30-50% 수준의 운동 강도가 제시되고 있다[21,22]. 운동수행력에 관한 선행연구를 살펴보면, Bogdanis et al. [10]은 2회 반복의 30초간 최대 스프린트 사이클링 사이에 처치된 4분간의 40% VO_{2max} 의 활동성 회복처치가 그 이후에 이루어지는 30초간의 최대 스프린트 사이클링의 수행력을 개선시킨다고 보고하여 본 연구와는 상반된다. 반면에 Lee et al. [12]은 복싱선수를 대상으로 트레드밀에서의 점증적

최대운동부하검사 후 회복형태에 따른 전신반응시간을 살펴본 결과, 소리에 대한 반응에서 30% VO_{2max} 의 강도로 트레드밀 걷기를 실시한 활동성 회복과 수동적 휴식처치 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다고 보고하였고, Lee [22]는 볼더링 선수를 대상으로 볼더링 경기를 이용하여 40초 완등, 90초 휴식의 구조로 3세트 운동한 후, Thera-band를 이용하여 1 RM의 30% 상대강도로 lateral raise와 wrist raise를 각각 좌 15회, 우 15회를 실시한 결과 활동성 휴식과 정적 휴식 처치 간에 운동수행력의 차이가 나타나지 않았다고 보고하여 본 연구와 유사하였다. 또한 혈중 젖산농도에 관해서도 다양한 연구가 보고되고 있는데, 트레드밀 운동부하검사[23], 일회성 고강도(90-100% VO_{2max}) 유산소 운동처치[24] 및 모방 경기[22] 후 활동성 회복(32-50% VO_{2max})이 수동적 회복에 비해 혈중 젖산농도 회복률 또는 젖산농도가 유의하게 감소함을 보고하였다. 이러한 결과는 본 연구와 상반되는 결과이다. 반면 Lee et al. [12]은 평균나이 17세의 고등부 남자복싱선수 8명을 대상으로 2분 4라운드의 최대산소섭취량의 강도로 트레드밀 런닝을 하고, 각 라운드 사이 1분과 회복기 10분 동안 VO_{2max} 30% 강도의 트레드밀 걷기를 한 결과, 혈중 젖산농도에서 수동적 회복과 활동성 회복 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다고 보고하여 본 연구와 유사한 결과를 제시하였다.

아이싱 요법과 관련하여, Verducci [7]은 역도운동에서 세트와 세트 사이에 3분 동안의 얼음 비닐봉지 5개를 어깨와 팔에 착용하는 처치한 것이 체온보온처치에 비하여 더 많은 운동량을 기록했다고 하였고, Yoo et al. [8]은 남자 대학교 태권도 선수들을 대상으로 2분 3회전 6경기를 실시하고, 경기와 경기 사이에 20분씩 처치(비처치, 마사지처치, 냉각처치)를 실시 후 냉각처치 그룹이 비처치 그룹에 비하여 무산소성 파워와 민첩성에서 운동수행력이 더 높게 유지된다고 보고하여 본 연구와는 상반된 결과를 제시하였다.

이와는 반대로 Son [11]은 주짓수 선수를 대상으로 윈게이트 테스트를 이용하여 2분 워업 20초간 90W를 유지한 후 30초간 최대 페달링을 하는 운동과 4분의 회복 시간동안 아이스 팩을 양손에 쥐고 말초부위 아이싱 처치(periphery cryotherapy)를 이용한 실험에서 최대파워, 평균 파워, 운동총량에 영향을 미치지 않는다고 보고하였고, Lee [22]는 볼더링 입상경력이 있는 남자선수 9명을 대상으로 모의 볼더링 경기 후 얼음팩 15°C로 어깨와 전완부위에 5분간 처치하는 회복방법이 정적 회복처치에 비해 운동수행력을 개선시키지 못했다고 보고 하였다. 또한 Lee et al. [12]은 복싱선수를 대상으로 all-out까지 진행하는 트레드밀테스트 후 두부, 안면부, 후경부에 아이싱 처치를 실시하여 전신반응시간을 관찰한 결과 수동적 회복처치와 아이싱 처치 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다고 보고하여, 본 연구결과와 유사한 결과를 제시하였다.

아이싱과 젖산 반응에서는 Lee et al. [25]은 대사 및 근관절 이상이

없고 주 5회 회당 2시간 이상의 운동을 1년 이상 지속하고 있는 평균 연령 20세의 남성을 대상으로 Bruce Protocol은 고온 처치그룹과 비교하여 냉각처치그룹에서 젖산수치의 유의한 감소현상을 발견하였고, Yoo et al. [8]은 태권도 모의시합을 통한 태권도 경기 간 회복방법에 관한 연구에서 아이싱그룹이 비처치그룹에 비하여 혈중 젖산농도가 낮다고 보고하였으며, Lee [22]는 볼테링 경기 중 아이싱이 수동적 회복에 비해 혈중 젖산농도에 유의하게 긍정적인 영향을 끼쳤다고 보고하여 본 연구와 상반되는 결과를 보였다. 반면, Son et al. [9]은 사이클경기에서의 말초부위 냉각회복이 효과적으로 혈중 젖산 농도를 감소시키지 못하였다고 보고하였으며, Lee et al. [12]은 혈중 젖산농도에 관한 연구에서 수동적 회복과 아이싱 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다고 하였는데, 이는 본 연구와 유사한 결과이다.

한편, 고농도 산소공급(Oxygen Supply)기법이 운동수행력 및 피로 회복력에 미치는 효과는 여전히 불명확하다. Adams & Welch [26]는 에로고미터를 이용하여 운동 중 산소공급기를 통한 고농도 산소공급과 일반 산소공급 시 운동수행력을 비교한 결과, 고농도 산소공급군의 운동수행시간이 일반 산소공급군에 비해 유의하게 길었다고 하였고, Byrnes et al. [27]은 정상 산소농도에서의 운동과 75%의 과산소농도 상태에서의 운동을 비교하였을 때, 고농도 산소공급이 정상 산소공급과 비교하여 VO_{2max} 가 13% 유의하게 높은 것으로 나타났다. 또한 Jeon [28]은 정기훈련을 주당 20시간 이상 소화하는 평균나이 20세의 Y대학교 축구선수 5명을 대상으로 트레드밀을 이용하여, 운동 전 과산소 공급군, 운동 중 과산소 공급군, 운동 후 과산소 공급군을 비교한 연구에서 운동 중 과산소 호흡군, 운동 전 과산소 호흡군, 운동 후 과산소 호흡군의 순으로 운동수행시간이 유의하게 길었다고 보고하여, 본 연구의 결과와 상반된 결과를 제시하였다. 하지만 Kim & Jo [29]는 투기종목 선수를 대상으로 80% VO_{2max} 의 강도로 40분간 운동을 실시한 후 농축액화산소섭취 그룹과 비처치 그룹 간에 혈중 젖산농도에서 유의한 차이가 없다고 보고하였으며, Kim et al. [6] 역시도 비슷한 운동 처치 후 고농도 산소호흡 회복처치 그룹과 무처치 그룹 사이에서 혈중 젖산농도 감소의 유의한 차이를 보이지 못하였다고 보고하여, 본 연구와 유사한 결과가 나타났다.

기존의 선행연구들을 살펴보면, 수동적 회복과 비교하여 일관되게 특정 회복처치가 우수하다는 결과를 얻을 수 없었다. 그 이유는 아마도 대상자의 특성(일반인, 선수, 성별 등)을 포함한 처치되는 운동의 형태(유산소운동, 무산소 운동, 저항 운동 등), 운동을 수행하는 시간(30초-수시간), 회복 처치 시간(30초-수십분) 및 방법 등 주요 관찰변인에 미치는 너무나 많은 요소들이 영향을 미치기 때문일 것이다. 주짓수의 경우, 경기소요시간이 6분이고 이것은 복싱, 태권도, 유도와 같은 격투기 종목보다 더 긴 탈진적 운동이며 30-40분 동안 처치되는 유산소 운동과는 에너지대사 측면에서 상당한 차이가 있다. 본 연구에서는 이

러한 6분간의 탈진적 운동을 4회 반복하는 동안 중간의 12분간의 회복시간에 3차례의 다양한 회복처치를 수행했음에도 불구하고 회복처치 방법간 어떠한 유의한 차이도 나타나지 않았다.

활동성 회복처치의 경우, 기존의 활동성 휴식에 대한 긍정적 반응과 차이가 있었던 이유는 아마도 활동성 휴식의 처치 강도의 차이 또는 주짓수 시합 모방 처치에 의한 탈진적 운동과 상대적으로 짧은 처치시간 등이 주요 원인으로 판단된다. 실제로, 본 연구에서는 활동성 휴식 처치의 강도를 설정하기 위하여 파일럿 테스트를 실시하였고, 6분간 탈진에 가까운 운동을 4라운드를 진행하여야 하는 피험자들에게 30-40% VO_{2max} 의 활동성 회복 처치가 어려워 몸을 푸는 정도의 낮은 강도로 처치하였으나 이것은 주요 원인이 아니라 판단된다. 실제로 Dupont et al. [30]과 Baquet et al. [31]에서도 반복적인 짧은 시간의 고강도인테벌 운동처치 후 짧은 수동적 처치가 50% VO_{2max} 의 능동적 처치보다도 탈진할 때까지 걸리는 시간이 더 길었다. 이러한 결과는 아마도 처치되는 강도, 특히 반복적으로 이루어지는 고강도 처치에 따른 차이가 더 크게 작용했을 것이라 판단된다.

아이싱 처치의 경우, 본 연구에서는 손바닥과 발바닥(손가락, 발가락 포함)으로 선정하였다. 이는 파일럿 테스트를 통하여 참가자들에게 여러 부위를 테스트 한 결과, 손바닥과 발바닥 등 말초부위에 처치했을 때 선수들이 가장 편안함을 느꼈다. 말초부위 아이싱 처치에 관한 선행연구에서도 유의미한 효과[9] 또는 효과가 나타나지 않았다는 상반된 결과[11]가 존재하고, 현장에서의 활용도가 높을 것이라 판단하여 그 효과를 확인하고자 하였다. 하지만 아이싱의 주요 목적이 주로 사용하는 부위의 통증과 피로도를 낮추는 것도 중요하지만 체온을 빠르게 낮추어 주는 것 역시 필요하다는 측면에서 체온의 상승이 높은 부위(머리, 등, 목 등)에 처치하는 방법도 고려해야 할 것으로 판단된다. 즉, 처치 시간의 유격을 두고 말초 부위로 시작하여 열의 발생이 많은 중추부위로 처치하는 방식의 처치 설계가 필요할 것으로 사료된다.

고농도 산소공급 처치와 관련하여 여러 선행연구들[32,33]에서는, 고농도 산소공급의 긍정적인 영향은 단기간의 고강도 운동에서 1-2분 이내에서의 고농도 산소공급이 효과적인 것으로 제안되었고, Brooks [34]는 이로 인해 얻을 수 있는 혜택이 1%정도의 최대운동능력 향상을 보인다고 하였다. 주짓수의 경우 1-2분을 초과한 6분간 지속적으로 운동을 해야 하고, 중간에 고농도 산소공급을 진행할 수 없기 때문에, 지속적인 고농도 산소공급이 불가능하다. 본 연구에서는 운동 후 고농도 산소공급 처치를 진행하였으나, 그 효과가 미비하였을 것으로 사료된다. 이렇듯 고농도 산소공급과 운동수행력 간의 긍정적인 효과를 보고한 수많은 연구들이 있지만 경기를 진행하는 중간에 별다른 처치를 할 수 없는 주짓수 시합 현장 특성상 1-2분 이후에 추가적인 고농도 산소공급이 이루어 질 수 없기 때문에 시합현장에서의 고농도 산소공급을 통한 경기력 향상을 도모하기 위한 방법은 추가적으로 모색되어야

할 것으로 판단된다.

본 연구에서의 흥미로운 발견은, 주짓수 모방 탈진 운동처치에 따른 활동성 휴식, 아이싱 처치 및 고농도산소공급이 수동적 회복과 비교하여 여러가지 생리적 지표에서 차이가 없었다는 것이고, 특히 RPE와 같은 개인의 주관적 느낌을 평가하는 지표에서 조차도 처치 간 차이가 없었다는 것이다.

2. 회복 처치별 CK 및 CRP 반응

각 회복 처치에 따른 CK 및 CRP에서도 처치 간 유의한 차이는 나타나지 않았다. 크레아틴키나아제(Creatine Kinase, CK)는 JFGB 테스트를 실시 후 상호작용효과를 포함한 처치에 따른 주효과에서는 유의한 차이가 없었으나 시기($p=.028$)에서는 유의한 차이가 나타났다. 즉, 처치조건과 관계없이 안정 시와 비교하여 JFGB 테스트 4라운드 수행 직후에 증가하였다. 반면 CRP는 상호작용효과를 포함한 처치 및 시기 모두에서 유의한 차이가 나타나지 않았다.

CK는 근육의 ATP 대사순환 과정에 중요한 효소로[35], CK활성도를 통하여 ATP를 재생산하는 능력을 짐작하여 판단할 수 있다. 인체 골격근의 경우, 고강도 운동시 속근섬유에서 나타나며 안정 시 근육의 원형질 내에 존재하여 낮은 혈중 CK농도를 보이거나[36], 신체활동의 지속으로 인해 근손상이 발생되면 세포막 투과성의 증가로 인하여 CK가 세포 간질액으로 이동하므로, 혈중 CK농도의 증가는 근세포의 손상정도를 나타내는 지표로 활용된다[37]. CK는 훈련을 통해 세포내 ATP 함량을 증가시키고 세포막을 강화시켜 근손상을 감소시킴으로써 운동 후 혈중 CK농도의 상승률을 낮출 수 있기 때문에[38], 신체의 단련정도에 따라[39] 다른 양상을 보이는데, 일정기간 저온 환경에서의 훈련을 통해 CK활성도를 낮출 수 있다고 보고되고 있다[40].

Lee [22]는 볼더링 경기 중 활동성 회복, 수동적 회복 및 아이싱처치 그룹 간에 CK 수치의 유의한 차이가 나타나지 않았다고 하였고, Kim [5]은 유도선수들을 대상으로 한 연구에서 고농도 산소호흡 그룹과 대기산소호흡 그룹 사이에 CK의 유의한 차이가 나타나지 않았다고 보고하여, 본 연구와 유사한 결과이다. 선행연구에 따르면 CK는 운동 직후 증가하지 않고 운동 후 6시간에서 24시간에 최고치를 기록하고[41-44], 근 통증 역시 운동 후 24시간에 최고치를 나타내며[45], 정상수치로 회복하는데 72-96시간이 소요된다고 보고되고 있다[46]. 또한 Lee [47]는 보디빌딩을 전공하지 않은 대구광역시에 거주하는 42명의 남자를 대상으로 1 RM 기준 50%, 70%, 90%의 3그룹으로 나누어 스미스 스쿼트를 실시한 연구에서 1 RM 50%그룹과 70%그룹에서는 안정 시와 비교하여 운동 직후와 회복기 24시에서 유의한 차이가 발견되지 않아 앞선 연구들과 그 결과를 같이 하였으나, 1 RM 90%그룹에서 안정 시보다 운동 직후 CK 수치가 높게 나타났고 회복기 24시에도 높아진 수치가 유지되는 결과를 보여, 앞서 보고된 선행연구와는 다른 결과를

나타내었다. 이러한 결과는 운동 강도와 CK 사이에 밀접한 연관성이 있음을 의미한다.

본 연구에선 안정 시와 4라운드 직후를 비교하여, 시기 간에서만 유의한 차이를 보여 주짓수가 혈중 CK농도에 유의한 차이를 발생시킬 정도의 고강도 운동이라는 점을 알 수 있었으나 회복처치에 따른 유의한 차이를 보이지 않아 주짓수 시합 중 회복처치가 혈중 CK농도에 큰 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다.

CRP는 감염이나 부상으로 인한 조직손상 발생시, 면역체계 활동으로 증가에 의해 체내에서 분비되는 단백질로[48], 합성 및 분해가 빠르고, 손상이 있는 동안 그 수치가 유지되어 염증 활성도를 확인하는 대표적인 지표로 사용되는 물질이다[49].

Ko et al. [50]은 C지역에 거주하는 평균나이 27세의 일반여성을 대상으로 한 연구에서 최대심박수(HRmax)를 기준으로 낮은 강도(HRmax 65%)와 높은 강도(HRmax 80%)로 트레드밀을 이용한 일회성 운동을 수행한 후 CRP를 관찰한 결과, 운동 직후에는 변화가 없었지만 회복기 24시간 후에는 유의한 증가를 관찰하였고, Gleeson et al. [51]은 일반인을 대상으로 한 40분간의 벤치스태핑 운동 직후 변화가 없던 CRP가 회복기 24시간에는 유의하게 증가하였다고 보고하였다. 이와는 반대로 Lee [47]는 대구광역시에 거주하는 42명의 보디빌딩 비전공자를 대상으로 1 RM 기준 50%, 70%, 90%의 3그룹으로 나누어 스미스 스쿼트를 실시한 결과 1 RM 50% 그룹은 운동 직후 CRP의 변화가 없었으나 회복기 24시에서 안정 시보다 CRP가 낮게 나타났고, 1 RM 90% 그룹에서는 운동 직후 CRP가 상승하고, 이후 회복기 24시에서 안정 시 수준으로 회복되었음을 보고하여 운동의 강도와 CRP 수치 사이에 연관성이 있음을 보고하였다.

본 연구에선 안정 시와 4라운드 직후를 비교하여, 시기 및 그룹 간에서 유의한 차이를 보이지 않았는데, 이는 본 연구에서 설계한 실험보다 더 짧은 휴식시간을 가지고 탈진에 가까운 고강도의 훈련을 지속해 온 선수들의 평소 운동량과 높은 회복력이 본 실험에서 운동 직후 CRP반응을 일으킬 만큼의 근손상을 주지 못하였기 때문일 것으로 사료된다.

CONCLUSIONS

결론적으로, 회복 처치별(수동적 회복, 활동성 회복, 아이싱 처치 및 고농도산소흡입) 운동수행력, 젖산농도 및 운동자각도(RPE) 모두 회복 처치 방법과 무관하게 JFGB 테스트에 따른 시기에서만 유의한 차이가 나타나, 활동성 회복, 아이싱 처치 및 고농도산소흡입 방법이 수동적 회복과 유사한 것으로 나타났다. 혈중 염증 마커인 CK와 CRP 역시도 회복 처치별 유의한 차이를 발견할 수 없었다. 하지만 CK의 경우, 회복기 6시간 이후에 증가되는 것이 일반적이나 주짓수 모방 탈진 처

치 직후에 회복처치와 무관하게 유의하게 증가함을 관찰하였다. 이는 주짓수 모방 탈진 운동이 매우 높은 강도의 운동처치라는 점을 확인할 수 있었다. 따라서 이에 따른 회복 처치 역시도 보다 적극적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다. 예를 들면, 말초 부위의 아이싱처치 보다는 차가운 물에 전신을 침수하는 방법 등이 고려되어야 할 것으로 판단된다. 따라서 향후 연구에서는 주짓수 모방 탈진 운동이 매우 고강도라는 점을 고려하여 이에 적합한 보다 적극적인 방식의 회복처치 방법에 대한 추가적인 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

CONFLICT OF INTEREST

이 논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며, 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

ORCID

Jong-Hyun Park <https://orcid.org/0000-0003-1130-8062>
Sang-Hyun Lee <https://orcid.org/0000-0002-5639-0437>
Su-Jin Kim <https://orcid.org/0000-0001-7674-8873>
Jung-Ran Song <https://orcid.org/0000-0002-4883-5942>
Hyo-Bum Kwak <https://orcid.org/0000-0003-0451-4554>
Ju-Hee Kang <https://orcid.org/0000-0001-5235-8993>
Dong-Ho Park <https://orcid.org/0000-0003-1863-0652>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization: J Park; Data curation: J Park, S Lee, S Kim, J Song; Methodology: J Park, S Lee, H Kwak; Writing-original draft: J Park, D Park; Writing-review & editing: J Kang, D Park.

REFERENCES

1. Jones NB, Ledford E. Strength and conditioning for Brazilian jiu-jitsu. *Strength & Conditioning Journal*. 2012;34(2):60-9.
2. Pereira RE, Lopes CR, Dechechi CJ, Victor BC, Ide BN et al. Cinetica de remocao de lactato em atletas de Brazilian Jiu-jitsu. *Revista Brasileira de Prescricao e Fisiologia do Exercicio (RBPFE)*. 2011;5(25):6.
3. Vidal Andreato L, Franzoi de Moraes SM, Del Conti Esteves JV, Regina de Araujo Pereira R, Lopes de Moraes Gomes T, et al. Physiological responses and rate of perceived exertion in Brazilian jiu-jitsu athletes. *Kineziologija*. 2012;44(2):173-81.
4. JIAU: Ju-Jitsu Asian Union. rules book for Ne-Waza Ju-Jitsu as approved by Ju-Jitsu International Federation (JJIF); 2015.
5. Kim HR. Changes in oxygen absorption patterns after maximum exercise of inductors on damage indicators of oxidation stress and bio-cardial membrane. Master thesis. Gyunggi-do: Yongin University, 2010.
6. Kim TY, Kim H, Lee KJ. The removal effect of blood lactate concentration on various recovery method in intense exercise. *Kor J Sports Sci*. 1999;8(1):429-38.
7. Verducci FM. Interval cryotherapy decreases fatigue during repeated weight lifting. *Journal of Athletic Training*. 2000;35(4):422.
8. Yoo DS, Park HY, Lee MK. Effects of recovery methods on fatigue-related blood variants and physical fitness of male university taekwondo athletes. *Exerc Sci*. 2011;261-72.
9. Son MY, Hwang BY, Lee DT, Cha KS. Effect of periphery cooling and active pedaling recovery on fatigue index and performance after middle-distance cycle competition. *Kor J Sport Sci*. 2012;23(3):666-74.
10. Bogdanis GC, Nevill ME, Lakomy HK, Graham CM, Louis G. Effects of active recovery on power output during repeated maximal sprint cycling. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1996;74(5):461-9.
11. Son JT. The effect of cooling recovery on the anaerobic exercise capacity of jujitsu athletes. Master thesis. Seoul: Korea National Sport University, 2017.
12. Lee WJ, Joo SB, Jo CM. Comparison of physiological responses following to the different recovery trials in boxing bout. *Kor J Phy Edu*. 2001;40(4):665-75.
13. Gellish RL, Goslin B, Olson RE, McDonald A, Russi GD, Moudgil VK. Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(5):822-9.
14. Rontoyannis GP. Lactate elimination from the blood during active recovery. *J Sports Med Phys Fitness*. 1988;28:115-23.
15. Brandner B, Munro B, Bromby LM, Hetreed M. Evaluation of the contribution to postoperative analgesia by local cooling of the wound. *Anaesthesia*. 1996;51(11):1021-5.
16. Eston R, Peters P. Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise induced muscle damage. *J. Sports Sci*. 1999;7(3):231-8.
17. Rowsell GJ, Couutts AJ, Reaburn P, Hill-Haas S. 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.

18. Maeng HJ. The change of cortisol, testosterone after cryotherapy following exercise-induced muscle fatigue. *Kor J Phy Edu*. 2002;41(3):317-23.
19. Schmidt V, Bruck K. Effect of a precooling maneuver on body temperature and exercise performance. *Journal of Applied Physiology*. 1981;50(4):772-8.
20. Astrand P, Rodahl K. textbook of work physiology. New York: McGraw-Hill Companies; 1986.
21. Gollnick PD, Bayly WM, Hodgson DR. Exercise intensity, training, diet, and lactate concentration in muscle and blood. *Med Sci Sports Exerc*. 1986;18:334-40.
22. Lee SJ. Comparison of the reactions of heart rate and blood fatigue substances according to various recovery procedures during the bouldering competition. Master thesis. Seoul: Kyunghee University; 2014.
23. Baek KH, Choi KS, Park CB. Changes in blood lactic acids, epinephrine and norepinephrine according to recovery methods after treadmill exercise of female university students. *Kor J Phy Edu*. 1997;36(4):277-91.
24. Bonen AREND, Belcastro AN. Comparison of self-selected recovery methods on lactic acid removal rates. *Medicine and Science in Sports*. 1976;8(3):176-8.
25. Lee JS, Koo HJ, Kim KT, Lee DT. Effects of partial body cooling on thermoregulatory and blood lactate responses to intermittent exercise in heat. *J Kor Soci Liv Env Sys*. 2006;13(2):170-5.
26. Adams RP, Welch HG. Oxygen uptake, acid-base status, and performance with varied inspired oxygen fraction. *Journal of Applied Physiology*. 1980;49(5):863-8.
27. Byrnes WC, Mihevic PM, Freedson PS, Horvath SM. Submaximal exercise quantified as a percent of normoxic and hyperoxic maximum oxygen uptakes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1984;16:572-7.
28. Jeon YS. Effects of hyperoxia supplement on exercise performance and blood energy substrate changes. *Kor Soci Growth Dev*. 2004;12(1):11-20.
29. Kim JW, Jo HC. The Effect of the concentrated liquid oxygen intake after high-intensity exercise on the oxidative stress, antioxidation, blood fatigue substances, and cardiovascular factors in elite athletes. *J Kor Soci Liv Env Sys*. 2018;25(4):432-9.
30. Dupont G, Moalla W, Guinhouya C, Ahmaidi S, Berthoin. Passive versus active recovery during high-intensity intermittent exercises. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36(2):302-8. doi: 10.1249/01.MSS.0000113477.11431.59.
31. Baquet G, Dupont G, Gamelin FX, Aucouturier J, Berthoin S. Active Versus Passive Recovery in High-Intensity Intermittent Exercises in Children: An Exploratory Study. *Pediatr Exerc Sci*. 2019;31(2):248-53.
32. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Human energy expenditure during rest and physical activity. *Exercise Physiology: Energy, Nutrition and Human Performance*. 1996;151-64.
33. Powers SK, Howley ET. Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance. McGraw-Hill; 2004.
34. Brooks GA. Exercise physiology. John Wiley & Sons, Inc.; 1984.
35. Chen W, Zhu XH, Adriany G, Ugurbil K. Increase of creatine kinase activity in the visual cortex of human brain during visual stimulation: a ³¹P NMR magnetization transfer study. *Magnetic Resonance in Medicine*. 1997;38(4):551-7.
36. Clarkson PM, Nosaka K, Braun B. Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Medicine and science in Sports and Exercise*. 1992;24(5):512-20.
37. Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM. Creatine kinase monitoring in sport medicine. *British Medical Bulletin*. 2007;81-82:209-30.
38. Hunter JB, Critz JB. Effect of training on plasma enzyme levels in man. *Journal of Applied Physiology*. 1971;31(1):20-3.
39. Yoon JK. The effect of maximal exercise on serum creatine kinase and lactate dehydrogenase. *Kor J Sports Med*. 1998;16(2):277-81.
40. Kim YS. Effect on the change in workplace temperature and hematocrit and Creatine kinase activity during absolute strength exercise before and after Nordic skiing training. Master thesis. Gangwon: Gangneung-wonju national University; 2003.
41. Apple FS, Rhodes MARC. Enzymatic estimation of skeletal muscle damage by analysis of changes in serum creatine kinase. *Journal of Applied Physiology*. 1988;65(6):2598-600.
42. Evans WJ, Cannon JG. The metabolic effects of exercise-induced muscle damage. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 1991;19(1):99-126.
43. An BK, Lee SH, Kim SJ, Park DH. Effects of Kinesio Taping on Jumping Performance and Blood Lactate in Elite Male Volleyball Athletes. *Exerc Sci*. 2017;26(1):69-76.
44. Kim YJ, Lee SH, Kim SJ, Kwak HB, Kang JH, Park DH. Effects of Self-Myofascial Released and Sports Massage on Exercise Performance and Fatigue Recovery in Male College Students. *Exerc Sci*. 2017;26(3):179-87.
45. Tiidus PM, Ianuzzo CD. Effects of intensity and duration of muscular exercise on delayed soreness and serum enzyme activities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1983;15(6):461-5.

46. Armstrong RB, Oglivie RW, Schwane JA. Eccentric exercise-induced injury to rat skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*. 1983;54(1): 80-93.
47. Lee WJ. Effect of load increase on muscular damage and inflammation indicator during the lower extremity resistance exercise. *J Coaching Dev*. 2015;17(2):127-32.
48. Wannamethee SG, Lowe GD, Shaper AG, Rumley A, Lennon L, Whincup PH. The metabolic syndrome and insulin resistance: relationship to haemostatic and inflammatory markers in older non-diabetic men. *Atherosclerosis*. 2005;181(1):101-8. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2004.12.031.
49. Ziccardi P, Nappo F, Giugliano G, Esposito K, Marfella R, et al. Reduction of inflammatory cytokine concentrations and improvement of endothelial functions in obese women after weight loss over one year. *Circulation*. 2002;105(7):804-9.
50. Ko SK, Ryu HS, Kwon YW, Ahn NY, Kim JH, et al. The effects of different exercise intensity on blood inflammatory and CK concentration. *Exerc Sci*. 2011;20(4):367-78.
51. Gleeson M, Almey J, Brooks S, Cave R, Lewis A, et al. Haematological and acute-phase responses associated with delayed-onset muscle soreness in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1995;71(2-3):137-42. doi: 10.1007/BF00854970.