

## 조정 선수의 로잉 에르고미터 수행 후 저온침수 처치가 혈중 피로 물질, 활성산소 및 항산화 효소에 미치는 영향

홍현욱<sup>1,\*</sup> · 고수한<sup>2</sup> · 김태규<sup>3</sup> · 김민교<sup>4</sup> · 김도연<sup>5,†</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 체육교육과, 석사

<sup>2</sup>부산대학교 체육교육과, 박사 후 연구원

<sup>3</sup>부산대학교 체육교육과, 박사과정

<sup>4</sup>부산대학교 체육교육과, 박사

<sup>5</sup>부산대학교 체육교육과, 교수

(2023년 7월 25일 접수: 2023년 8월 18일 수정: 2023년 8월 18일 채택)

## Effect of cold water immersion after rowing ergometer on blood fatigue substance, reactive oxygen species and anti-oxidation enzyme in rowing athletes

Hyun-Wook Hong<sup>1,\*</sup> · Su-han Koh<sup>2</sup> · Tae-kyu Kim<sup>3</sup> · Min-Kyo Kim<sup>4</sup> · Do-yeon Kim<sup>5,†</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Education, Master's Degree, Pusan National University, Busan, Korea

<sup>2</sup>Department of Physical Education, Post Doctor, Pusan National University, Busan, Korea

<sup>3</sup>Department of Physical Education, PhD Course, Pusan National University, Busan, Korea

<sup>4</sup>Department of Physical Education, PhD, Pusan National University, Busan, Korea

<sup>5</sup>Department of Physical Education, Professor, Pusan National University, Busan, Korea

(Received July 25, 2023; Revised August 18, 2023; Accepted August 18, 2023)

**요 약** : 본 연구의 목적은 남자 대학 엘리트 조정선수의 2000 m 로잉 에르고미터 수행 후 저온침수 처치를 통해 혈중 젖산, LDH, MDA 및 SOD의 변화에 긍정적인 영향을 주어 피로 회복에 미치는 영향을 구명하는 데 있다. 이에 남자 대학 엘리트 조정선수 10명을 대상으로 고강도 로잉 에르고미터 2,000 m 수행 후 비 처치와 저온 침수 처치의 효과를 비교하였다. 측정 변인들에 대한 결과를 검증하기 위해 처치 및 시기 간 상호작용 효과를 분석하기 위해 ANOVA를 실시하였고 각 항목별 유의수준 .05로 설정하여 다음의 결과를 도출하였다. 젖산은 시기 간 주효과가 나타났고( $p < .001$ ) 그룹 내 시기별 차이가 났다( $p < .001$ ). 또한, LDH는 그룹 내 시기별 차이가 나타났고( $p < .05$ ). MDA는 그룹×시기 간 상호작용 효과가 나타났고( $p < .05$ ), 그룹 간( $p < .05$ ), 시기 간( $p < .001$ ) 주효과가 나타났고, SOD는 그룹 간, 시기 주효과가 나타났고( $p < .05$ ) 회복 30분 후 그룹 간 차이가 나타났고( $p < .05$ ). 이를 종합해 볼 때, 본 연구에서 실시한 저온침수

<sup>†</sup>Corresponding author

(E-mail: [kdy4955@pusan.ac.kr](mailto:kdy4955@pusan.ac.kr))

처치가 조정 선수의 혈중 피로 물질, 활성산소 및 항산화 효소에 유의한 효과를 나타냈다. 따라서 운동선수의 고강도 훈련 후 저온침수를 적극 활용할 것을 권장한다.

주제어 : 저온침수, 로잉 에르고미터, 젖산, LDH, MDA, SOD

**Abstract** : The purpose of this study is to help a recovery of fatigue through the effect of cold immersion treatment after rowing ergometer on blood fatigue substance, MDA and SOD in rowing athletes. For this, 10 subjects participated in this study and we divided them into cold water immersion group (CWI,  $n=10$ ), non-cold immersion group (NCI,  $n=10$ ). The exercise program was performed to 2000 m rowing ergometer for maintaining high intensity. The data was collected with regard to the interaction effect of the group and time among the CWI and NCI, ANOVA was used. As the post-hoc test, Bonferroni test was used. The significance was set at .05 and the following conclusions were deduced. For lactic acid, there were the main effect of time ( $p<.001$ ) and significant difference in the both group ( $p<.001$ ). Also, LDH were significant difference in the each group ( $p<.05$ ). For MDA, there were the interaction between group and time ( $p<.05$ ) and the main effect of group ( $p<.05$ ) and time ( $p<.001$ ). SOD were indicated main effect of group and time ( $p<.05$ ), there was significant difference between each group in the after 30 min recovery ( $p<.05$ ). Collectively, The results of this study suggest that positive effect on blood fatigue substances, reactive oxygen species and anti-oxidation enzyme through cold water immersion intervention. Therefore, we strongly recommend that performing the cold immersion intervention would be beneficial after high intervention exercise.

**Keywords** : Cold immersion, Rowing ergometer, Lactate, LDH, MDA, SOD

## 1. 서론

조정은 강이나 호수에서 보트(boat)를 사용하여 무동력으로 2,000 m의 직선거리를 최대한 빠르게 완주하는 종목으로 높은 수준의 신체적 능력을 요구하는 종목이다. 신체적 능력만으로 진행하기 때문에 결승점까지 최대한 빠른 속도로 도달하기 위해서 선수들의 유·무산소 운동능력이 경기결과에 큰 영향을 미치게 된다.

이와 같은 고강도의 체력을 필요하는 종목의 선수들은 경기력을 높이고 신체 능력을 최대한 발휘하기 위해서 지속적으로 다양한 형태의 고강도 훈련을 수행하고 있으며, 고강도 훈련은 근력과 지구력 등을 향상 시켜 운동선수의 운동 수행 능력을 높이는 효과적인 훈련 방법이다[1]. 그러나 지속적으로 고강도 운동을 수행하게 되면 피로가 누적되어 근 손상 및 염증을 유발하여 신체 방어기능을 저하시키게 된다[2]. 고강도 운동 후에 생리적으로 발생하는 운동 피로는 인체 내에 에너지 기질의 고갈과 혈중 대사산물의 축적에

의해 발생되고, 이는 기관과 조직의 기능을 저하시켜 피로가 쌓이게 되어 결국 운동 수행 능력을 떨어뜨린다[3]. 하지만 경기력 향상을 위해서 선수들은 지속적인 고강도 운동을 수행하고 있고, 연이은 훈련 소화와 시합을 준비해야 하기 때문에 신체의 피로 회복은 매우 중요하다.

대표적인 피로 물질 중 하나인 젖산(lactic acid)은 운동을 통해 생성되며, 강도 높은 운동으로 인하여 젖산을 제거하는 능력의 균형이 깨지게 되면 젖산으로 인한 젖산염이 근섬유에 수소이온을 축적 시켜 대사적 산성화가 발생하게 된다. 이는 근 수축을 통해 발현되는 수소이온의 축적이 수소이온을 제거하는 비율보다 높기 때문에, 축적된 수소이온은 근섬유 내에 칼슘 결합을 방해하여 근육의 수축력을 감소시키며 근 피로의 주요 원인이 된다[4]. 한편, 젖산탈수소효소(lactate dehydrogenase; LDH)는 NADH(nicotinamide adenine dinucleotide)를 이용하여 피루브산을 젖산으로 전환하는 것을 촉매하는 산화환원효소로서 혐기성 해당과정에 관여하게 된

다[5]. 또한, 젖산은 혐기성 해당과정에서 최종산물로 더 이상 대사가 일어나지 않기 때문에 혈액으로 방출되어 간으로 운반된다. 고강도 운동으로 근육이 손상되고, 젖산 수치가 증가하면 세포는 혈류로 젖산을 방출시키게 되며, 이에 따라 혈중 LDH 수치도 증가하게 된다[6].

또한, 지속적인 고강도 운동은 신체 내의 산화적 스트레스를 촉진시키고 골격근의 수축으로 인하여 운동 중에 활성산소 혹은 반응성 산소종(reactive oxygen species; ROS)이 생성되게 되는데 이는 미토콘드리아에 세포 호흡을 통한 부산물로 방출되게 된다. 적당한 ROS의 생성은 활성 골격근에서 긍정적인 생리적 적응을 촉진하지만 반대로 높은 수준의 ROS 생성은 단백질, 지질, DNA(deoxyribonucleic acid) 등에 손상을 주고 지질 과산화물 유도하여 혈중 과산화지질(malondialdehyde; MDA)을 증가시키게 되며[7], 더 나아가 염증성 신호 전달 경로를 활성화시키고 염증성 질환의 발병을 유발한다[8]. 특히 산화적 스트레스로 인해 높은 이동성과 화학적으로 가장 반응성이 높은 ROS 중 하나인 하이드록실라디칼( $\cdot\text{OH}$ )의 지질에 대한 직접적인 영향은 MDA 수치 증가를 유도한다[9].

이처럼 과도한 훈련을 통한 MDA의 수준 증가는 운동 후 회복기까지 지속적으로 증가하여 운동 수행력을 감소시키는 것으로 나타났다[10]. 2,000 m 로잉 에르고미터 수행은 조정선수들의 지질과 단백질의 산화적 손상을 초래하였고, 이를 대처하기 위한 항산화 효소 수치가 산화적 스트레스를 억제하지 못하는 것으로 나타났다[11]. 이는 격렬한 운동이 산화적 스트레스를 동반하여 세포 손상을 유발하기 때문이다[12].

한편, 고강도 운동 수행에 있어서 신체의 산화와 환원에 균형을 유지하는 데에 중요한 역할을 하는 항산화 효소는 ROS의 수치가 증가하면 신체 내의 항산화성을 위해서 활성화되는데, 대표적인 항산화 효소로 SOD(superoxide dismutase), 카탈라아제(catalase; CAT), 글루타치온 페록시다제(glutathione peroxidase; GPx) 등이 있다[13]. 그중 SOD는 산화적 스트레스로부터 세포를 보호하는 주요 항산화 방어 시스템으로 ROS로 인한 산물을 제거하는 등 다양한 메커니즘을 통해 염증을 억제하고[8], 운동을 통해 유발된 염증 및 산화적 스트레스를 감소시킨다[14]. 또한, 격렬한 운동으로 인하여 ROS의 수치가 상승하게 되면 항산화 효소와의 불균형이 일어나 조직의 손상을

유발하여 부상이 촉진될 수 있다[15].

이처럼 격렬한 운동 후 피로 물질을 적절히 제거하는 것은 선수들에게 매우 중요하다고 생각된다. 이는 회복을 통하여 선수들은 피로를 감소시킴으로써 이후 실시되는 훈련 집중도와 경기 시 다음 경기를 위한 집중도를 높여 훈련 능력과 경기력을 향상시킬 수 있기 때문이다[16]. 피로 회복에는 다양한 방법이 있는데 그중 정적 휴식이 있는 반면[17, 18] 걷기, 마사지, 스트레칭과 같은 동적 회복도 있다[19, 20]. 이외에도 피로 물질을 제거하기 위해 수중 방법을 이용한 피로 회복이 연구되었고[21-23], 수중 방법을 이용한 피로 회복은 엘리트 선수들의 운동 후 중추 피로 감소, 정수압의 작용, 부교감 신경의 활성화, 염증성 반응과 산화 스트레스의 감소 등을 통해 근육의 손상과 통증을 감소하고 운동 수행력을 회복시키는 것에 효과적이었다[24].

또한, 저온, 미온, 고온 등 온도의 차이를 이용한 침수가 혈중 피로 물질과 스트레스 호르몬의 완화에 효과적이었으며[25], 저온침수 처치를 통한 운동 후 피로 회복이 근 통증 회복에 긍정적인 영향을 미쳤다[26]. 더불어 저온침수를 통하여 적혈구의 산화 글루타치온(glutathione)의 농도가 증가하는 동시에 환원 글루타치온의 농도가 감소하는 것으로 나타났다[27]. 이는 항산화 효소의 활성성을 높여 산화적 스트레스를 감소시키는 데 긍정적인 영향을 미친 것으로 운동 후 성인 남성의 MDA의 부산물인 TBARS(thiobarbituric acid reactive substances)의 수치 감소와 항산화 효소인 SOD, CAT, GPx의 수치 증가에도 긍정적인 효과를 미쳤다[27].

낮은 물 온도는 혈류를 개선하여 근 손실을 최소화하고, 부종 및 염증을 조절하며, 피로를 최소화하여 선수의 회복을 촉진 시킬 뿐만 아니라[28], 저온침수 처치 이후 운동 수행은 조직 내 산소 공급도 증가시킨다[29]. 이를 종합해 볼 때 저온침수 처치가 고강도 운동 후 발생하는 피로 물질과 산화 스트레스를 효과적으로 감소시키고 항산화 효소를 증가시킬 것이라고 생각된다. 따라서 본 연구는 엘리트 조정선수의 고강도 로잉 에르고미터 수행 후 저온침수 처치를 통하여 피로 물질, MDA, SOD에 미치는 영향을 구명하고, 고강도 운동 수행을 하는 엘리트 선수들의 운동 후 수중 피로 회복 방법을 제시할 필요성이 있어서 실시하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 연구대상

본 연구는 실험에 들어가기 앞서 부산대학교 생명윤리위원회의 승인(PNU IRB/2021\_153\_HR)을 받았으며, 대상자들에게 본 연구의 목적과 취지를 충분히 전달하여 자발적 참여 의사를 보인 자에 한하여 실험동의서를 받아 참여하도록 하였다. 대상자는 G 시 소재의 I 대학에 재학하고 있는 조정 경력 5년 이상, 전국대회에 입상 경험이 있는 남자조정선수 10명을 대상으로 비 처치군과 저온침수 처치군으로 구분하였다. 대상자 수는 G-Power 3.1을 이용하여 단일그룹 교차설계를 바탕으로 effect size  $f=0.5$ , 검정력 0.8에 의거하여 분석한 결과 총 10명으로 산출되었지만 탈락률을 감안하여 총 11명으로 구성하였다. 실험 도중 중도 포기자 1명을 제외하고 총 10명으로 분석하였다. 대상자는 과거에 병력과 부상이 없으며, 현재 특별한 질환이 없는 자로 선정하였다. 대상자의 신체적 특성은 <Table 1>과 같다.

### 2.2. 저온침수 처치

본 연구에서 저온 침수 처치는 로잉 에르고미터 수행 직후 가로 100 cm 세로 64 cm 높이 56 cm의 이동식 간이 욕조와 얼음을 사용하여 처치하였다. 침수는 욕조에 쇄골까지 침수하였으며, 온도와 시간은 선행연구를 토대로 14-16 °C를 유지하며 15분 동안 실시하였다.

### 2.3. 자료수집

#### 2.3.1. 체조성

본 연구의 대상자들의 신장(cm)는 신장계를 사용하여 측정하였으며, Inbody 430(Inbody, KOR)

를 사용하여 체중(kg), 체지방량(%), 골격근량(kg)을 자동으로 측정하였다.

#### 2.3.2. 혈액채취

채혈을 위해 실험 시작 전 24시간 동안 격렬한 운동을 금지시키고 카페인 섭취 및 흡연을 제한하였으며, 실험 전날 오후 9시부터 공복을 유지하도록 하여, 채혈 당일 오전 9~12시 사이에 안정 시, 로잉 에르고미터 수행 직후, 회복 15분 후, 회복 30분 후 상완 정맥에서 5 ml씩 총 4회 임상병리사가 채혈하였다.

#### 2.3.3. 혈액 분석

젖산은 Colorimetric Assay 방식으로 분석하였고, LDH는 UV Assay 방식으로 분석하였으며, MDA와 SOD는 ELISA(Enzyme-linked immunosorbent assay) 방식으로 MDA는 NOVUS사의 Malondialdehyde ELISA Kit (Colorimetric), SOD는 CUSABIO사의 Human Superoxide Dismutase [Cu-Zn] (SOD1)를 사용하여 microplate reader(Allsheng, CHN) 분석 장비를 이용하여 분석하였다.

### 2.4. 자료처리

수집된 자료는 연구목적에 따라 SPSS 23.0 프로그램을 이용 다음과 같이 분석하였다. 첫째, 측정항목에 대한 평균( $M$ )과 표준편차( $SD$ )를 산출하였다. 둘째, 집단 및 시기 간 상호작용 효과검증을 위하여 two-way repeated measure ANOVA를 실시하였다. 셋째, 주효과 비교는 Bonferroni 방법을 이용하여 검증하였다. 통계적 유의수준은 .05로 설정하였다.

Table 1. Characteristic of subjects

	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	Career (yrs)
Rowers ( $n=10$ )	21.20±1.23	183.60±3.53	88.55±10.64	26.21±2.56	7.10±2.28

Values are  $M \pm SD$

BMI: body mass index

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 혈중 피로 물질

##### 3.1.1. 젖산

젖산은 저온침수 처치 후 시기 간 주효과 ( $p<.001$ )가 나타났다. 처치 내 시기 간 차이에서는 비 처치( $p<.001$ ) 및 저온침수 처치( $p<.001$ ) 모두 로잉 에르고미터 2000 m 수행 직후, 회복 15분 후, 회복 30분 후, 안정 시 순으로 유의한 차이가 나타났다. 연구 결과는 <Table 2>와 같다.

##### 3.1.2. LDH

LDH는 저온침수 처치 후 상호작용 효과 및 주효과는 나타나지 않았으나 처치 내 시기 간 차이에서는 비 처치의 경우 회복 30분보다 로잉 에르고미터 2,000 m 수행 직후가 유의하게 높은

것으로 나타났다( $p<.05$ ). 저온침수 처치의 경우 회복 15분, 회복 30분보다 로잉 에르고미터 2,000 m 수행 직후가 유의하게 높은 것으로 나타났다( $p<.05$ ). 연구 결과는 <Table 2>와 같다.

#### 3.2. MDA

MDA는 저온침수 처치 후 상호작용 효과 ( $p<.05$ ) 및 처치 간( $p<.05$ ), 시기 간( $p<.001$ ) 모두 유의한 효과가 나타났다. 처치 내 시기 별 차이에서는 비 처치의 경우 안정 시 보다 로잉 에르고미터 2,000 m 수행 직후와 회복 15분 후가 유의하게 높은 것으로 나타났다( $p<.05$ ). 저온침수 처치의 경우 안정 시보다 회복 15분 후가 유의하게 높은 것으로 나타났다( $p<.05$ ). 시기별 처치 간 차이에서는 회복 15분 후( $p<.01$ )와 회복 30분 후( $p<.05$ )에 저온침수 처치가 비 처치보다 유의하게 낮게 나타났다. 연구 결과는 <Table 3>과 같다.

Table 2. Changes in lactic acid and LDH after non-cold water immersion and cold water immersion recovery

Variable		NCI	CWI	<i>t</i>	<i>F</i> -value	
Lactic acid (mmol/L)	(1)	1.55	1.08	7.672	Group	0.464
	Baseline	±0.47	±0.19			
	(2)	22.14	21.77	0.119	Time	175.516***
	Immediately	±3.73	±2.77			
	(3)	15.05	14.05	0.643	Time	175.516***
	15 min recovery	±3.58	±2.13			
	(4)	8.08	7.99	0.026	G×T	2.031
30 min recovery	±1.96	±1.48				
<i>F</i>		151.130*** (1<4<3<2)	170.522*** (1<4<3<2)			
LDH (U/L)	(1)	218.70	218.00	0.002	Group	0.21
	Baseline	±37.31	±39.58			
	(2)	292.90	297.40	0.027	Time	7.840
	Immediately	±77.37	±80.85			
	(3)	232.90	218.40	1.662	Time	7.840
	15 min recovery	±25.36	±44.42			
	(4)	215.00	219.70	0.092	G×T	0.257
30 min recovery	±28.81	±40.41				
<i>F</i>		4.568* (4<2)	7.935* (3,4<2)			

Values are  $M \pm SD$

NCI: non cold water immersion, CWI: cold water immersion

\* $p<.05$ , \*\*\* $p<.001$

Table 3. Changes in MDA after non-cold water immersion and cold water immersion recovery

Variable	NCI	CIW	<i>t</i>	<i>F</i> -value		
(1) Baseline	1507.00 ±267.90	1481.50 ±280.95	3.117	Group	7.983*	
(2) Immediately	1594.50 ±238.75	1604.50 ±221.13				
MDA (ng/mL)	(3) 15 min recovery	1630.50 ±246.53	1575.50 ±269.65	19.800**	Time	7.635***
	(4) 30 min recovery	1556.50 ±254.54	1455.10 ±270.66			
<i>F</i>	7.541* (1<2,3)	5.420* (1<3)		G×T	3.340*	

Values are  $M \pm SD$

NCI: non cold water immersion, CWI: cold water immersion

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$

Table 4. Changes in SOD after non-cold water immersion and cold water immersion recovery

Variable	NCI	CWI	<i>t</i>	<i>F</i> -value		
(1) Baseline	122.40 ±30.91	107.40 ±35.95	1.553	Group	7.084*	
(2) Immediately	102.90 ±33.42	93.70 ±20.65				
SOD (pg/mL)	(3) 15 min recovery	106.50 ±33.43	93.00 ±21.62	3.466	Time	5.078*
	(4) 30 min recovery	97.70 ±22.08	85.50 ±14.98			
<i>F</i>	1.618	1.425		G×T	0.138	

Values are  $M \pm SD$

NCI: non cold water immersion, CWI: cold water immersion

\* $p < .05$

### 3.3. SOD

SOD는 처치 간 주효과( $p < .05$ )와 시기 간 주효과( $p < .05$ )에 유의한 차이가 나타나며 시기별 처치 간 차이에서는 회복 30분 후에 비 처치가 저온침수 처치보다 높게 나타났다( $p < .05$ ). 연구 결과는 <Table 4>와 같다.

젖산은 에너지 기질로써 에너지 대사의 중요한 기능을 제공하며, 운동 중 세포 신호 전달 기능을 제공한다[30]. 또한 LDH는 세포질 효소로써 NADH를 통해 피루브산을 젖산으로 전환시키는

역할을 수행하고, 산소의 공급이 없거나 제한적일 때 혐기성 대사에 관여하며[5], 코리회로(Cori cycle)를 통해 반대로 젖산을 피루브산으로 전환하는 역반응을 수행한다[31].

본 연구의 저온침수 처치 후와 비처치 간의 젖산의 변화에 유의한 차이가 나타나지 않은 이유는 저온처치가 대상자들의 회복에 직접적으로 영향을 주지 못한 것으로 사료된다. 이는 젖산 자체가 온도에 영향을 받지 않는 피로 물질이라고 생각되며 침수 온도와 회복 시간에 대한 선행연

구에서도 5 °C 저온 침수와 14 °C 저온 침수를 비교했을 때, 운동 직후, 24시간 후, 72시간 후에도 젖산에는 통계적인 차이를 나타내지 못하였다[32]. 하지만 젖산이 저온침수의 효과성에 대한 메타 분석 결과는 고강도 직후 저온침수에 해당하는 회복실시가 일반적인 휴식보다 효과적이라는 결과는 본 연구 결과와는 상반된 결과이다[33]. 이렇게 다양한 연구 결과들은 젖산에 대한 회복이 운동 수행 후 개개인이 저온 침수에 받아들이는 회복이 다를 수 있다는 것을 암시하며 본 연구의 설계 이외에도 추후 세부적인 온도 변화에 따른 회복 시점의 차이에 대한 연구가 더 필요하다라는 것을 알 수 있다.

또한, 젖산과 LDH는 대사적 과정에서 중요한 역할을 하지만 본 연구에서는 저온침수 처치 후 젖산과 LDH의 혈중 농도를 감소시키지는 못하였는데 이러한 이유는 LDH 자체가 혐기성 대사에 있어서 포도당을 젖산으로 전환하는데 높은 비율을 차지하고 있기 때문이라고 생각된다. 젖산은 세포 내에 ATP와 글루코스의 항상성을 유지시키는데 도움을 주는 대사 과정에 중요한 매개체로써 고강도 운동뿐만 아니라 저강도와 휴식 시에도 생성되어 산화되면서 에너지원으로 사용되며, 산화가 되지 않은 젖산은 글루코스 신생합성의 전구체로 젖산이 생성된 세포 내에서 이용되거나 세포간질, 혈관을 통해서 떨어져 있는 또 다른 세포로 전달되어 사용된다[34]. 따라서 본 연구에서도 운동 후 피로 회복에 있어서 저온침수 처치가 유의한 효과가 나타낼 것으로 기대하였으나 극심한 고강도 운동으로 인한 혐기성 대사 과정이 감소 되면서 젖산과 LDH의 발현을 감소시키지 못한 것으로 사료된다.

다양한 선행연구에서도 저온침수 처치가 남자 대학생 16명을 대상으로 신장성 운동 후 혈중 젖산 수치에 유의한 변화가 없었고[35], 남자 대학 조정선수 8명을 대상으로 로잉 에르고미터 2,000 m 수행 후 정적회복, 육상 동적 회복, 수중 동적 회복 방법에 있어서 혈중 젖산의 변화가 없었으며[36], 20대 남자를 대상으로 고강도 운동 후 스트레칭 회복에도 유의한 차이가 나타나지 않아 본 연구의 경과와 유사하였다[17].

저온침수 처치 방법이 중추 피로 감소와 정수압의 작용, 부교감 신경을 활성화시켜 운동 후 피로 회복에 효과가 있다고 하였지만[24], 다른 선행연구에서는 저온침수 처치를 통하여 말초 혈관의 수축을 유도하고, 이를 통해 근육의 혈류를

감소시켜 근육의 산소 활용도를 낮춰서 회복에 부정적인 영향을 줄 수 있다고 하였다[37]. 이는 혈액을 통해 전달되어야 하는 산소와 영양소 공급에 어려움이 생기고, 혐기성 대사에 대한 의존도가 높아졌기 때문에 피로 회복에 유의한 효과가 나타나지 않았다[38].

평상시 활성산소는 활성 골격근, 심장, 피부, 뇌의 혈류 전달과 조절에 관여하는 특징을 가지고 있지만, 고강도 운동을 통해 산소 요구량이 증가함에 따라 활성산소 생산 속도가 항산화 시스템의 용량을 초과하여 활성산소의 수치도 증가하게 되면 산화적 손상이 발생하여 근육은 높은 수준으로 산화되고, 혈류와 혈관 확장 능력을 손상시키게 되며[39], 고강도 운동을 통해 유발되는 체온 상승은 NADPH 산화효소로부터 활성산소의 생성을 증가시켜 구조적 손상과 산화·환원 상태의 변화 등을 초래할 수 있다[40].

한편, 본 연구에서도 2000 m 로잉 에르고미터의 고강도 운동 강도가 80~90%HRR 수준의 매우 높은 강도이며 이에 따라 운동 직후에 처치 시와 비 처치 시 모두 MDA의 높은 상승을 나타내었다. 그 후 비 처치 시에는 휴식 15분 후까지 상승한 뒤 휴식 30분에 이르러 회복하였지만, 저온침수 시에는 침수 15분부터 유의한 감소가 나타났다. 또한, 회복 30분에는 처치 시와 비 처치 시를 비교했을 때 처치 시에 유의한 감소를 보였다.

이러한 변화가 나타난 이유로 [41]의 연구에서 활성산소 회복에 있어서 14~16 °C로 15분 동안 침수하는 방법이 저온침수 처치의 환경으로 가장 효율적이고 효과적인 온도와 시간임을 나타낸 연구 결과와 본 연구에서 설정한 저온침수 온도와 침수 시간 설정이 유사하기 때문에 MDA에 유의한 영향을 주었다고 생각된다. 또한, MDA의 증가는 운동 강도와 관련이 있고 MDA의 형성은 조직의 대사성 산성혈증(acidosis)에 큰 영향을 미치기 때문에 MDA의 회복은 매우 중요하다[42]. 또한, 미토콘드리아는 ATP 합성의 주요 공급원이고, 활성산소 생성 소기관으로써 에너지 및 산화·환원 대사의 중심적인 역할을 하며[3], 이러한 미토콘드리아의 호흡 사슬 기능은 골격근 세포의 활성산소 생성에 크게 기여하게 되기 때문에 근육 내에 온도를 낮추어 미토콘드리아의 에너지 생성 속도를 줄이는 것이 운동을 통하여 받는 스트레스로 인해 발생하는 활성산소를 제한할 수 있다[40]. 이에 따라 본 연구에서는 저온침

수 시 MDA 감소가 효과적으로 나타났으며, 이는 운동선수들의 고강도 운동 후 적절한 회복 방법이 될 가능성을 보여주고 있다.

근육 내에 온도를 낮출 수 있는 방법 중 하나인 저온침수 처치는 세포를 보호하는 메커니즘을 상향 조절하여 스트레스에 대한 내성을 향상 시키고, 혈류를 개선 시켜 근육의 손실 감소와 염증, 부종을 억제하여 피로 회복을 촉진시킨다[28, 34]. 그중 SOD는 활성산소를 처리하는 중요한 효소로써[44] 항산화 효소의 첫 번째 방어선을 형성하여 산화 스트레스로부터 세포 손상을 방어 하며[8], 초과산화이온을 과산화수소 혹은 물로 변형시키는 역할을 하는 항산화 기능 검사에 대표적인 효소이다[45]. 이처럼 운동선수들의 꾸준한 운동은 항산화 효소와 세포 기능을 증가시키고, 심근을 보호하는 효과가 있으며, 산화·환원의 균형을 높여 SOD의 신체 내 기본 수치가 높아지게 되어 SOD의 활성이 증가한다[12, 45].

본 연구에서는 비 처치와 저온 침수 처치의 평균 수치에 차이가 나타난 것은 실험 전 대상자들이 all-out 수준의 고강도 훈련을 하지 않고, 꾸준한 훈련을 통해 산화·환원 균형의 수치가 높아지고 이에 따라 SOD의 체내 수치 또한 높아져 있는 상태로 all-out 수준의 고강도 운동을 수행하여 신체 내 산화·환원 균형의 저하로 인해 SOD의 수치 또한 낮아진 것으로 사료된다. [27] 연구에서 24명의 건강한 남성을 대상으로 사이클링 운동 후 20 °C 실온 휴식과 3 °C의 저온침수 비교 시 매우 낮은 온도에서의 저온침수 처치 40분 후에 SOD 감소에 뚜렷한 변화를 나타내었다. 이를 통해 SOD의 변화가 비교적 긴 회복 시간과 낮은 온도에 의해 반응성이 높다는 것을 알 수 있었으며, 본 연구에서의 14-16 °C의 저온침수 온도와 15분의 저온침수 시간 설정에서 차이점을 보였기 때문에 선행연구와는 다른 결과가 나타났다고 생각된다.

반면, 엘리트 태권도 선수를 대상으로 운동 후 저온침수 처치 수행이 유의미한 효과를 나타내지 못한 연구와 SOD의 수치가 유의하게 증가한 연구에서는 측정 시기에 있어 저온침수 처치 이후 SOD를 24시간과 48시간 이후의 측정 결과임으로 본 연구와 측정 시기에 대한 차이가 있었다 [46-47]. 이는 저온침수를 하더라도 SOD의 발현 시점을 파악하는 것이 중요하다 볼 수 있으며 특히, 본 연구에서의 SOD가 저온침수에서도 큰 변화가 없었던 생리학적 이유는 약 10-12 °C의 저

온침수는 혈중 MDA의 수치를 높이면서 세포벽에 손상을 가했을 뿐 세포의 구성성분인 미토콘드리아와 같은 세포 소기관들에 영향을 입힐 만큼의 저온이 아니었기 때문에 SOD에 큰 변화가 나타나지 않았다고 사료된다[48].

이러한 점들을 미루어 보았을 때 항산화 효소 중 하나인 SOD가 14~16 °C 온도에 대한 반응이 크지 않았고, 본 연구의 저온침수 처치 후 측정 시기가 단시간 내에 이루어져 SOD의 수치가 유의한 차이를 보기 어려웠다고 생각된다.

#### 4. 결론

본 연구에서 고강도 운동 후 저온침수 처치가 혈중 피로 물질 및 항산화 효소인 SOD에 유의한 변화를 나타내지 못하였으나, 활성산소인 MDA에 유의하게 감소하는 효과가 있었다. 이는 고강도 운동을 통해 체온 상승으로 인하여 유발되는 NADPH 산화효소로부터 활성산소의 생성을 증가시켜 구조적 손상과 산화·환원 상태의 변화를 초래하지만, 저온침수 처치를 통하여 근육 내 온도를 낮춰 NADPH 산화효소의 발현을 제한하고 이를 통해 세포를 보호하는 메커니즘을 상향 조절하여 스트레스에 대한 내성 향상 및 혈류를 개선된 결과라 사료된다. 이는 근육의 손실 감소와 염증 및 부종을 억제하여 피로 회복에 효과적이라 생각된다. 따라서 본 연구의 저온침수 처치 방법을 통하여 고강도 훈련을 수행하는 운동선수들에게 활성산소 감소에 효과적임을 나타내었고 운동 직후 14-16 °C 이하 온도의 저온침수 처치를 적극 권장한다.

#### References

1. F. Dolci, A. E. Kilding, P. Chivers, B. Piggott, N. H. Hart, "High-intensity interval training shock microcycle for enhancing sport performance: A brief review", *The Journal of Strength & Conditioning Research*, Vol.34, No.4 pp. 1188-1196, (2020).
2. S. H. Yang, "The influence of judo masters' pre-season winter hard-training on fatigue substance, muscle injury marker

- and inflammation markers", *Exercise science*, Vol.24, No.1 pp. 39-47, (2015).
3. M. Flockhart, L. C. Nilsson, S. Tais, B. Ekblom, W. Apro, F. J. Larsen, "Excessive exercise training causes mitochondrial functional impairment and decreases glucose tolerance in healthy volunteers", *Cell Metabolism*, Vol.33, No.5 pp. 957-970, (2021).
  4. B. G. Yoon, "The Review of Metabolic Acidosis During Exercise", *Journal of the Korean Oil Chemists Society*, Vol.35, No.4 pp. 1433-1441, (2018).
  5. M. Adeva-Andany, M. Lopez-Ojen, R. Funcasta-Calderon, E. Ameneiros-Rodriguez, C. Donapetry-Garcia, M. Vila-Altesor, J. Rodriguez-Seijas, "Comprehensive review on lactate metabolism in human health", *Mitochondrion*, Vol.17, pp. 76-100, (2014).
  6. A. Farhana, S. L. Lappin, "Biochemistry, lactate dehydrogenase", *In StatPearls*, StatPearls Publishing.
  7. S. K. Powers, R. Deminice, M. Ozdemir, T. Yoshihara, M. P. Bomkamp, H. Hyatt, "Exercise-induced oxidative stress: friend or foe?", *Journal of Sport and Health Science*, Vol.9, No.5 pp. 415-425, (2020).
  8. N. H. Nguyen, G. B. Tran, C. T. Nguyen, "Anti-oxidative effects of superoxide dismutase 3 on inflammatory diseases", *Journal of Molecular Medicine*, Vol.98, No.1 pp. 59-69, (2020).
  9. A. Ayala, M. F. Munoz, S. Arguelles, "Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal" *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, Vol.2014 pp. 1-31, (2014).
  10. A. Thirupathi, R. A. Pinho, U. C. Ugbole, Y. He, Y. Meng, Y. Gu. "Effect of running exercise on oxidative stress biomarkers: A systematic review", *Frontiers in Physiology*, Vol.11 pp. 1789, (2021).
  11. J. Czuczejko, Ł. Sielski, B. Woźniak, A. Woźniak, K. Szewczyk-Golec, "Melatonin supplementation improves oxidative and inflammatory state in the blood of professional athletes during the preparatory period for competitions", *Free Radical Research*, Vol.53, No.2 pp. 198-209, (2019).
  12. P. Sutkowy, A. Woźniak, T. Boraczyński, M. Boraczyński, C. Mila-Kierzenkowska, "The oxidant-antioxidant equilibrium, activities of selected lysosomal enzymes and activity of acute phase protein in peripheral blood of 18-year-old football players after aerobic cycle ergometer test combined with ice-water immersion or recovery at room temperature", *Cryobiology*, Vol.74 pp. 126-131, (2017).
  13. T. A. F. Aguilar, B. C. H. Navarro, J. A. M. Perez, "Endogenous antioxidants: a review of their role in oxidative stress", *A Master Regulator of Oxidative Stress-the Transcription Factor nrf2*, pp. 3-20, (2016).
  14. J. E. Nogueira, P. Passaglia, C. M. Mota, B. M. Santos, M. E. Batalhao, E. C. Carnio, L. G. Branco, "Molecular hydrogen reduces acute exercise-induced inflammatory and oxidative stress status", *Free Radical Biology and Medicine*, Vol.129 pp. 186-193, (2018).
  15. A. Phaniendra, D. B. Jestadi, L. Periyasamy, "Free radicals: properties, sources, targets, and their implication in various diseases", *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, Vol.30, No.1 pp. 11-26, (2015).
  16. J. I. Yu, Y. H. Cho, T. B. Seo, "Effect of Various Recovery Methods on Maximum Strength, Lactate Clearance Rate and Performance in Sports Climber", *Korean society for Wellness*, Vol.15, No.3 pp. 535-546, (2020).
  17. J. G. Kim, "Comparison of Physiological Responses Following to the Static Recovery Trial or Stretching in High-Intensity Weight Training", *International Journal of Coaching Science*, Vol.21, No.2 pp. 64-70, (2019).

18. E. S. Han, M. Gu, "Effects of Static Stretching Cool-Down on Changes in Blood Lactate Accumulation Due to High Strength Short-term Exercise", *The Korean Journal of Growth and Development*, Vol.27, No.2 pp. 87-91, (2019).
19. J. W. Kim, H. C. Cho, J. H. Kim, "The Effect of Aqua Legs Massage in Convalescence on Blood Fatigue Materials after the Maximum Exercise Test", *The Korean Society of Sports Science*, Vol.27, No.4 pp. 923-931, (2018).
20. H. Y. Jang, M. H. Lee, "Effects of Using Convergence Sports Massage on ssireum players' Recovery Heart Rate, Oxygen Uptake and Blood Lactate after Maximal Exercise", *Journal of the Korea Convergence Society*, Vol.10, No.6 pp. 317-324, (2019).
21. T. W. Kang, J. B. Park, "The Effect of Stretching in Cold Immersion after Artificial Delayed Onset of Muscle Soreness(DOMS) on Muscle Pain and Muscular Function for Life Care", *Journal of Korea Entertainment Industry Association*, Vol.12, No.8 pp. 317-326, (2018).
22. K. H. Hong, G. W. Kim, J. I. Choi, B. K. Kim, T. S. Jang, "Effect of Water Temperature Differences on Blood Lactate, Double Product and Pain during Half-Bath after Circuit Weight Training", *The Korean Journal of Sport*, Vol.18, No.4 pp. 441-451, (2020).
23. E. H. Park, Y. K. Yang, T. Y. Han, "Effects of Temperature Treatment on the Fatigue of the Central nervous system in Taekwondo Athletes", *The Korean Society of Sports Science*, Vol.27, No.5 pp. 1213-1223, (2018).
24. J. Y. Kim, S. H. Kim, D. J. Sung, "Cold-water immersion for recovery in elite athletes: Effects, practical application, and impact on training adaptations", *Korean Society for Wellness*, Vol.12, No.4 pp. 575-588, (2017).
25. M. K. Kim, "Effects of Blood Fatigue and Stress Hormone on Temperature of Whole-Bath after Resistance Exercise in Adult Women", *The Korea Journal of Sports Science*, Vol.26, No.4 pp. 995-1006, (2017).
26. J. H. Kim, "The Study on Recovery of Muscular pain According to Cooling Treatment Method", *Korean society for Wellness*, Vol.13, No.4 pp. 401-409, (2018).
27. P. Sutkowy, A. Woźniak, T. Boraczyński, C. Mila-Kierzenkowska, M. Boraczyński, "Postexercise impact of ice-cold water bath on the oxidant-antioxidant balance in healthy men", *Biomed Research International*, Vol.2015 pp. 1-8, (2015).
28. L. Torres-Ronda, X. S. i del Alcazar, "The properties of water and their applications for training", *Journal of Human Kinetics*, Vol.44 pp. 237, (2014).
29. Yeung, S. S., Ting, K. H., Hon, M., Fung, N. Y., Choi, M. M., Cheng, J. C., Yeung, E. W. Effects of cold water immersion on muscle oxygenation during repeated bouts of fatiguing exercise: a randomized controlled study. *Medicine*, Vol.95. No.1 pp. 1-8, (2016).
30. M. M. Hall, S. Rajasekaran, T. W. Thomsen, A. R. Peterson, "Lactate: friend or foe." *Physical Medicine and Rehabilitation*, Vol.8, No.3 pp. S8-S15. (2016).
31. S. Passarella, A. Schurr, "l-Lactate transport and metabolism in mitochondria of Hep G2 cells—The Cori cycle revisited." *Frontiers in Oncology*, Vol.8 pp. 120. (2018).
32. D. Anderson, J. Nunn, C. J. Tyler, "Effect of cold (14 °C) vs Ice (5 °C) water immersion on recovery from intermittent running exercise." *The Journal of Strength & Conditioning Research*, Vol.32, No.3 pp. 764-771, (2018).
33. P. Gu, L. Zhang, X. Zheng, X. A. Zhang, "Effects of post-exercise recovery methods

- on exercise-induced hormones and blood fatigue factors: a systematic review and meta-analysis.” *Ann Palliat Med*, Vol.10, No.10 pp. 184-193, (2021).
34. Y. K. Song, Justin Y. Jeon, S. H. Suh, “Understanding of Lactate.” *Korean Journal of Sport Science*, Vol.28, No.1 pp. 1-10. (2017).
  35. C. G. Kim, “The Effects of Whole-Body Cold Water Immersion following Eccentric Exercise on Muscle Damage, Blood MDA and Lactate Levels.” *The Korean Society of Sports Science*, Vol.30, No.1 pp. 813-822, (2021).
  36. J. H. Kim, S. M. Ha, M. S. Ha, Y. J. Choi, D. Y. Kim, “Comparative Analysis of Catecholamine, Cortisol, Reactive Oxygen Species and Lactate According to the Performing 2,000m Rowing Ergometer in Rowers.” *The Korean Society of Sports Science*, Vol.28, No.1 pp. 1213-1224, (2019).
  37. J. Stanley, J. M. Peake, J. S. Coombes, M. Buchheit, “Central and peripheral adjustments during high-intensity exercise following cold water immersion.” *European Journal of Applied Physiology*, Vol.114, No.1 pp. 147-163, (2014).
  38. M. Ihsan, G. Watson, C. R. Abbiss, “What are the physiological mechanisms for post-exercise cold water immersion in the recovery from prolonged endurance and intermittent exercise?.” *Sports Medicine*, Vol.46, No.8 pp. 1095-1109, (2016).
  39. D. Morales-Alamo, J. A. L. Calbet, “Free radicals and sprint exercise in humans.” *Free Radical Research*, Vol.48, No.1 pp. 30-42, (2014)
  40. G. E. White, G. D. Wells, “Cold-water immersion and other forms of cryotherapy: physiological changes potentially affecting recovery from high-intensity exercise.” *Extreme Physiology & Medicine*, Vol.2, No.1 pp. 1-11, (2013).
  41. A. F. Machado, P. H. Ferreira, J. K. Micheletti, A. C. de Almeida, I. R. Lemes, F. M. Vanderlei, J. N. Junior, C. M. Pastre, “Can water temperature and immersion time influence the effect of cold water immersion on muscle soreness? A systematic review and meta-analysis.” *Sports Medicine*, Vol.46, No.4 pp. 503-514, (2016).
  42. J. R. Hoffman, J. Im, J. Kang, C. M. Maresh, W. J. Kraemer, D. French, S. Nioka, R. Kime, K. W. Rundell, N. A. Ratamess, A. D. Faigenbaum, B. Chance, “Comparison of low- and high-intensity resistance exercise on lipid peroxidation: role of muscle oxygenation.” *The Journal of Strength & Conditioning Research*, Vol.21, No.1 pp. 118-122, (2007).
  43. M. J. Tipton, N. Collier, H. Massey, J. Corbett, M. Harper, M. “Cold water immersion: kill or cure?.” *Experimental Physiology*, Vol.102, No.11 pp. 1335-1355, (2017).
  44. M. Rinnerthaler, J. Bischof, M. K. Streubel, A. Trost, K. Richter, “Oxidative stress in aging human skin.” *Biomolecules*, Vol.5, No.2 pp. 545-589, (2015).
  45. S. K. Powers, K. J. Sollanek, M. P. Wiggs, H. A. Demirel, A. J. Smuder, “Exercise-induced improvements in myocardial antioxidant capacity: the antioxidant players and cardioprotection.” *Free Radical Research*, Vol.48, No.1 pp. 43-51, (2014).
  46. T. M. Coelho, R. F. Nunes, F. Y. Nakamura, R. Duffield, M. C. Serpa, J. F. da Silva, L. J. Carminatt, F. J. Cidral-Filho, M. P. Goldim, K. Mathias, F. Petronilho, D. F. Martins, L. G. Guglielmo, “Post-Match Recovery in Soccer with Far-Infrared Emitting Ceramic Material or Cold-Water Immersion”, *Journal of Sports Science & Medicine*, Vol.20, No.4 p. 732, (2021).

47. E. H. Park, S. W. Choi, Y. K. Yang, "Cold-Water Immersion Promotes Antioxidant Enzyme Activation in Elite Taekwondo Athletes", *Applied Sciences*, Vol.11, No.6 p. 2855, (2021).
48. S. Dede, Y. Deger, I. Meral, "Effect of short-term hypothermia on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activity in rats", *Journal of Veterinary Medicine Series A*, Vol.49, No.6 pp. 286-288, (2002).