

# 축구 하프타임 휴식 중 저온 침수 처치가 혈중 생리 지표 및 염증-면역 반응에 미치는 영향

대구대학교 체육학과<sup>1</sup>, 영남대학교 체육학과<sup>2</sup>, 한국축구협회<sup>3</sup>, 마디세상병원<sup>4</sup>

박순태<sup>1</sup> · 허성훈<sup>1</sup> · 안경준<sup>1</sup> · 권영우<sup>2</sup> · 박경훈<sup>3</sup> · 김준호<sup>4</sup> · 이종삼<sup>1</sup>

## The Effect of Cold Water Immersion on Physiological Indices, Inflammatory and Immune Responses during a Soccer Match

Suntae Park<sup>1</sup>, Sunghoon Hur<sup>1</sup>, Kyungjun An<sup>1</sup>, Youngwoo Kwon<sup>2</sup>, Kyunghoon Park<sup>3</sup>, Junho Kim<sup>4</sup>, Jongsam Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Education, Daegu University, Gyeongsan, <sup>2</sup>Department of Physical Education, Yeungnam University, Gyeongsan, <sup>3</sup>Korea Football Association, Seoul, <sup>4</sup>Madisesang Hospital, Seoul, Korea

**Purpose:** We investigated the effects of cold water immersion (CWI) treatment during half-time break on performance related physiological indices during second half soccer match.

**Methods:** Twenty-two collegiate soccer players participated in the study. Subjects undertook 3 minutes head out seated with whole body immersion at 19°C to 21°C. Total four venous blood samples were collected and analyzed for markers of ionic regulations and inflammatory (interleukin [IL]-1b, IL-6, IL-8, IL-10, tumor necrosis factor- $\alpha$ , and vascular endothelial growth factor) and immune functions (immunoglobulin [Ig] G, IgG2, IgG3, IgG4, IgA, and IgM).

**Results:** Partial oxygen concentration and %SO<sub>2</sub> level was lowered in CWI. Hemoglobin and hematocrit values were not significantly different between experimental groups. While there was no notable effect was shown in Na<sup>+</sup> and Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> concentration was higher in CWI during second half match. There were no effects in any of inflammatory and/or anti-inflammatory cytokines and Ig.

**Conclusion:** These results suggest that CWI during half time break exert positively affects in buffering capacity and promote oxygen delivery to the actively recruited skeletal muscle, possibly results in improve soccer performance during second half match.

**Keywords:** Body temperature, Athletic performance, Inflammation, Immunity

Received: April 28, 2021 Revised: October 12, 2021 Accepted: October 26, 2021

Correspondence: Jongsam Lee

Department of Physical Education, Daegu University, 201 Daegudae-ro, Jillyang-eup, Gyeongsan 38453, Korea

Tel: +82-53-850-6083, Fax: +82-53-850-6089, E-mail: jlee@daegu.ac.kr

Copyright ©2021 The Korean Society of Sports Medicine

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://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.

## 서론

축구는 젖산 역치 수준에 가까운 운동 강도로 전·후반 90분 동안 10 km 이상의 거리를 이동할 수 있는 활동력을 요구하며<sup>1</sup>, 점핑, 태클, 전력질주 등과 같은 폭발적인 파워의 발현을 동시에 요구해 높은 체력 수준이 필요하다<sup>2</sup>. 특히, 스프린트와 점핑을 통해 체공 상태에서의 볼 점유 우위를 차지하기 위한 반복적인 신체 활동은 생리적 측면에서 신체적 에너지 소실률을 60%~90%에 달하게 해 기술적, 그리고 전술적 경기 운영의 측면에 커다란 저해 요인으로 작용한다<sup>1</sup>. 경기 중 이동거리와 운동 강도를 전반전과 후반전 사이에 비교한 결과에서는 후반전에서 전반전에 비해 운동 강도의 현저한 감소와 5%~10% 이동거리의 감소가 나타났다<sup>3</sup>. 이러한 결과들은 전반전을 지나면서 체내 에너지의 부족 상태가 발생해 후반전의 경기력 저하가 나타나는 것이라 볼 수 있다. 이는 축구 경기 중 전반전 종료 후 하프타임 휴식 중에 후반전을 위한 빠른 체력 회복과 피로도 완화를 통해 후반전을 대비할 수 있는 방법적 탐색이 필요함을 보여주지만, 이에 대한 세부적인 생리적 기전에 대한 연구는 여전히 미흡한 실정이다. 이와 같이, 리그 및 토너먼트와 같이 반복적으로 경기에 임해야 하는 운동 선수들은 이전 경기를 통해 유발된 생리적 피로 상태를 최단 시간에 완화 혹은 소멸시킬 수 있는 방법을 찾고자 한다. 다양한 회복 방법이 현장에서 적용되고 있지만 저온 침수 처치(cold water immersion)는 스포츠 현장에서 주요한 회복 방법으로 널리 사용되고 있다<sup>4</sup>. 저온 침수 처치는 혈관 수축을 일으켜 혈액 공급이 감소하면서 출혈에 의한 부종의 최소화, 세포 내 대사물의 저하, 염증 반응의 억제에 효과가 있는 것으로 보고되고 있다<sup>5</sup>. Peiffer 등<sup>6</sup>은 사이클 선수를 대상으로 저온 침수 처치(14℃/5분)를 한 결과 직장 온도가 감소하고 고강도 지구성 운동 수행력이 향상되었다고 보고하였으며, Ascensão 등<sup>7</sup>은 축구 선수를 대상으로 한 경기 후 저온 침수 처치(10℃/10분)에 대해 근육 손상의 감소와 근신경 기능의 빠른 회복 가능성을 제시한 바 있다. 하지만, 현재까지 축구 선수들을 대상으로 전반전 경기 종료 직후 회복을 향상을 유도해 낼 수 있는 처치를 통해 후반전 경기 시 나타나는 다양한 생리적 변인들의 변화를 체계적으로 살핀 연구 결과는 발표된 바 없다. 따라서, 본 연구에서는 축구 선수들을 대상으로 축구 경기 전반전 종료 후 저온 침수를 통해 상승된 체온의 하강을 유도한 후 후반전 경기력 관련 변인 및 혈중 피로-염증지표에 나타나는 생리적 효과를 규명하고자 하였다.

## 연구 방법

### 1. 연구대상

대학 재학 중인 단일 축구팀 내 축구 선수 총 22명(골키퍼 2명 포함)을 연구대상자로 선정하였다. 연구대상자를 휴식군(n=11)과 저온 침수 처치군(n=11)으로 나누었으며 각 실험군 내 수비수 3명, 중앙플레이어 4명, 공격수 3명, 및 골키퍼 1명씩 포함되도록 하였다. 연구대상자의 선정 및 실험군 배정 시 선수 개인의 평소 포지션이 잘 반영됨은 물론 두 실험군의 전력이 비슷하여 대등한 경기가 이루어질 수 있도록 하였다. 실험 참가 전 모든 피험자에게 연구의 목적, 내용 및 진행과정을 포함한 실험 전반에 대해 이해할 수 있을 정도의 충분한 설명을 실시하였으며, 대구대학교 연구윤리위원회로부터 승인을 얻어 진행하였다(No. 1040621-201407-BR-002-02). 실험대상자들에게 실험 참가에 앞서 최소 1주일간 측정 변인에 영향을 미칠 수 있는 약물의 복용을 금지하였으며, 정상적인 훈련을 제외한 부가적인 개인 운동 참여를 제한하였다. 실험 참가 2주일 전 체성분 분석기(X-SCAN plus II; Jawon Medical, Gyeongsan, Korea)를 사용해 실험대상자의 신체적 특성 및 체 조성비를 측정했으며 PAR O Medics 가스 분석기(Sandy, UT, USA)를 사용한 운동부하검사를 통해 최대 산소섭취량을 측정해냈다. 피험자의 신체적 특성은 Table 1에 나타낸 바와 같다.

### 2. 실험 절차

고온의 환경(30℃ 이상)에서 실제 축구경기를 진행함으로써 실험을 수행하였으며, 실험에 참여하기 전 최소 1주일 동안 측정

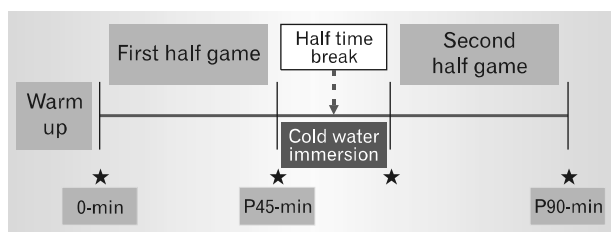
**Table 1.** Comparison of physical characteristic between control and cold water immersion (CWI) group

Characteristic	Control group	CWI group
Age (yr)	20.4±1.1	20.5±1.2
Height (cm)	179.9±4.5	179.8±5.7
Body mass (kg)	71.8±2.4	70.2±5.7
VO <sub>2max</sub> (mL/kg/min)	62.2±4.6	58.9±6.8
Athlete career (yr)	9.3±1.1	9.7±1.2
RR <sub>max</sub>	49.1±5.6	48.4±7.5
VE <sub>max</sub> (BTPS)	121.3±10.1	117.0±21.9
RER <sub>max</sub>	1.09±0.03	1.09±0.09
MET <sub>max</sub>	17.7±1.3	16.8±1.9

Values are presented as mean±standard deviation.

RR: respiratory rate per minute, VE: ventilatory capacity, BTPS: body temperature, pressure, and saturated, RER: respiratory exchange rate (VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>), MET: metabolic equivalent.

변인에 영향을 미칠 수 있는 약물(흡연, 음주 및 카페인)의 복용 및 섭취를 통제하였다. 실험대상자들에게 전날 충분한 수면(최소 7시간 이상)을 취한 후 실험에 참가하도록 요청하였으며, 오전에는 가벼운 운동만을 실시한 후, 오후 3시에 실제 경기에 임할 수 있도록 하였다. 경기 시간을 오후 3시로 계획한 것은 실제 대학 축구 경기가 주로 2-3시 전후에 시작된다는 점을 고려한 것으로, 경기 시 예상 대기 환경은 여름철의 무더위(고온[ $\sim 30^{\circ}\text{C}$ ] 다습[60% 이상의 상대습도])가 지속되는 상태로 설정하였다. 경기는 실제 게임 시 적용되는 규칙대로 전·후반 각 45분과 전·후반 사이 15분의 하프타임 휴식을 제공하는 것으로 진행되었다. 실험 당일 인조 잔디가 설치된 운동장에서 신발과 양말을 벗고 가벼운 운동복장만을 착용한 상태로 체중과 고막 온도를 측정하였다. 실험 시작 1시간 전부터 모든 실험 대상자에게 위성 위치 확인 시스템(global positioning system)을 장착한 무선 심박수 측정계(Polar Electro, Kempele, Finland)를 착용하게 하여 실험 종료 시까지 이동거리와 매 15초마다의 심박수를 측정하였으며 이를 토대로 매 분마다 평균 심박수를 산출하였다. 전반 45분의 경기를 종료한 후, 휴식군 내 선수들은 평상시 경기에서와 동일한 방법으로 휴식을 취하도록 지시하였으며, 국부 냉점질과 마사지, 이온 및 당 함유 음료의 섭취 등이 취해졌다. 이와 대조적으로 저온 침수군의 선수 전원에게는 미리 준비해 둔 저온 침수 장치(수온  $19^{\circ}\text{C}$ - $21^{\circ}\text{C}$ )에 들어가 최소 흉부 아랫부분을 침수시킨 상태로 3분간 머물도록 하여 체온의 하강을 유도하였다. 실험자는 신체의 침수 상태를 확인하였으며 가능한 10-20초간 머리를 포함한 전신이 침수 상태를 유지할 수 있도록 독려하였다. 선수들의 체온 변화를 확인하기 위해 채혈 시기와 동일하게 선수들의 체온을 측정하였다. 실제 실험 시 경기장 주변 대기 환경 조건은 온도  $29^{\circ}\text{C}$ 에서  $30^{\circ}\text{C}$ , 상대습도 68.5%, 대기압 759 mm Hg였다. 전체적인 실험 절차는 Fig. 1과 같다.



**Fig. 1.** Experimental design. 0-min: before soccer match was kicked off, P45-min: immediately after the end of the first half during soccer match, half time: 15-minute break time between the first half and the second half during soccer match, P90-min: immediately after the end of the second half during soccer match. ★: Blood sampling.

### 3. 채혈 및 혈액 분석 방법

두 군 모두에서 전체 실험과정 중 헤파린 및 무처리된 진공 채혈관을 이용해 전완정맥으로부터 시합 시작 1시간 전, 전반 종료 직후, 후반 시작 직전 및 후반 종료 직후 등 총 4회에 걸쳐 채혈을 실시하였다. 채집된 혈액은 원심분리( $\times 3,000$  RPM)를 통해 혈장(헤파린 처리 튜브로부터) 혹은 혈청(무처리된 튜브로부터)을 분리한 후, 혈청은 cyto flowmetry (BIO-Plex 200 system; Bio-Rad, Hercules, CA, USA)를 이용해 혈중 사이토카인과 immuno-isotope의 분석에 사용하였으며 헤파린 처리된 튜브에 채집된 혈액은 NOVA 분석기(Nova Biomedical Corp., Waltham, MA, USA)를 이용하여 혈중 생리학적 지표(pH,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{PO}_2$ ,  $\text{PCO}_2$ , % $\text{SO}_2$ , hematocrit, hemoglobin, glucose, lactate,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ )의 분석에 사용하였다.

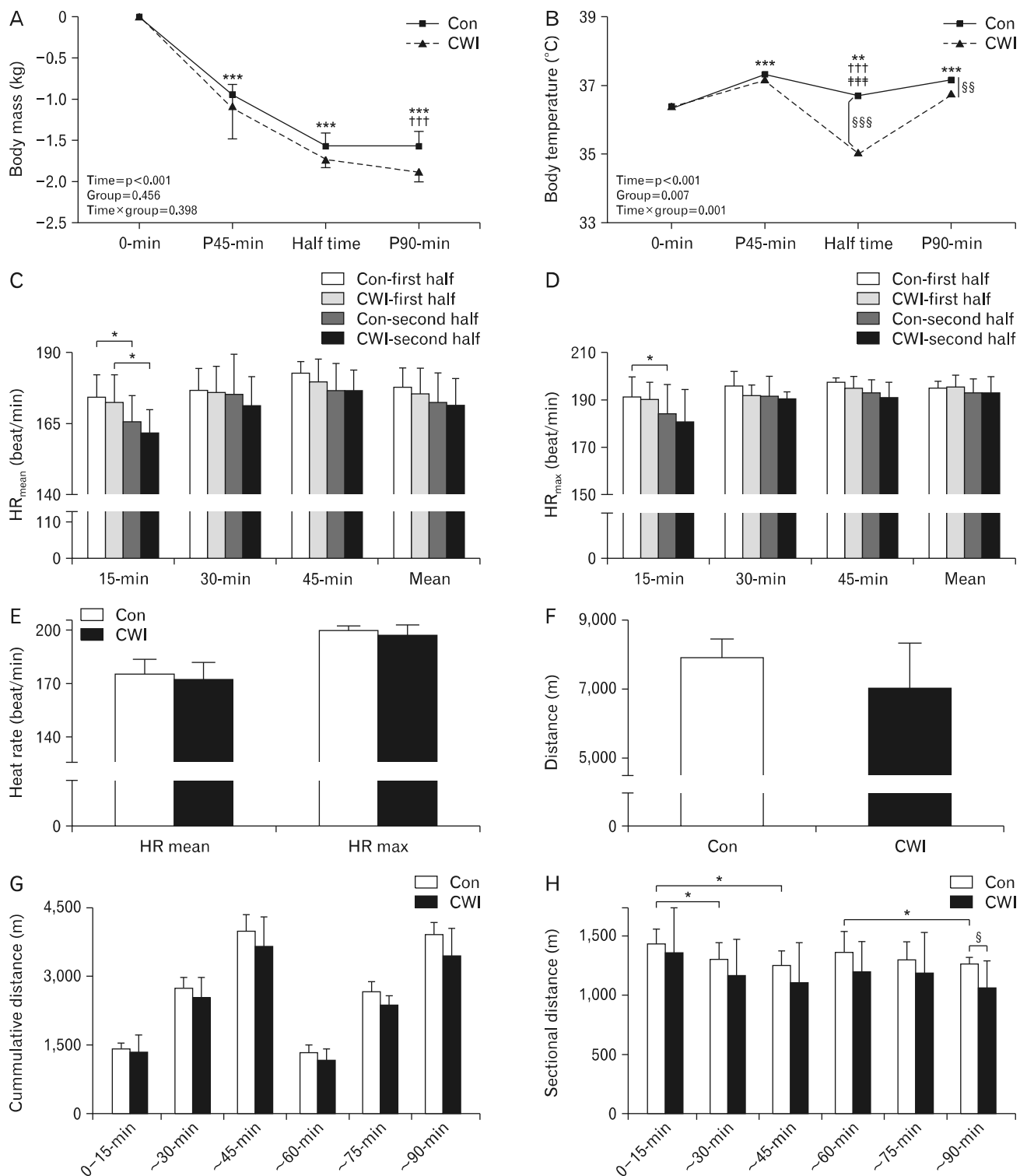
### 4. 통계 처리

본 연구를 통해 수집되는 모든 자료에 대해 Windows용 IBM SPSS 프로그램(version 20.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용해 평균과 표준편차를 산출하였다. 저온 침수 처치 유무와 시간의 경과 사이에 나타나는 각 변인 사이의 상호작용 및 주효과 검증에 위해 반복측정 분산분석(repeated analysis of variance)을 실시하였으며, 시간에 따른 주효과 검증 시 유의한 차가 나타날 경우 Tukey의 사후검정을 실시하였다. 정규성 검증을 실시해 정규분포 형성이 안된 경우 두 군 간 차이는 Mann-Whitney test를, 측정 시기 간 차이는 Wilcoxon test를 실시하였다. 각 시간대에서의 두 군 간 평균 차 검증을 위해 독립 t-검정(independent t-test)을 실시하였다. 모든 자료에 대한 통계적 유의수준은  $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

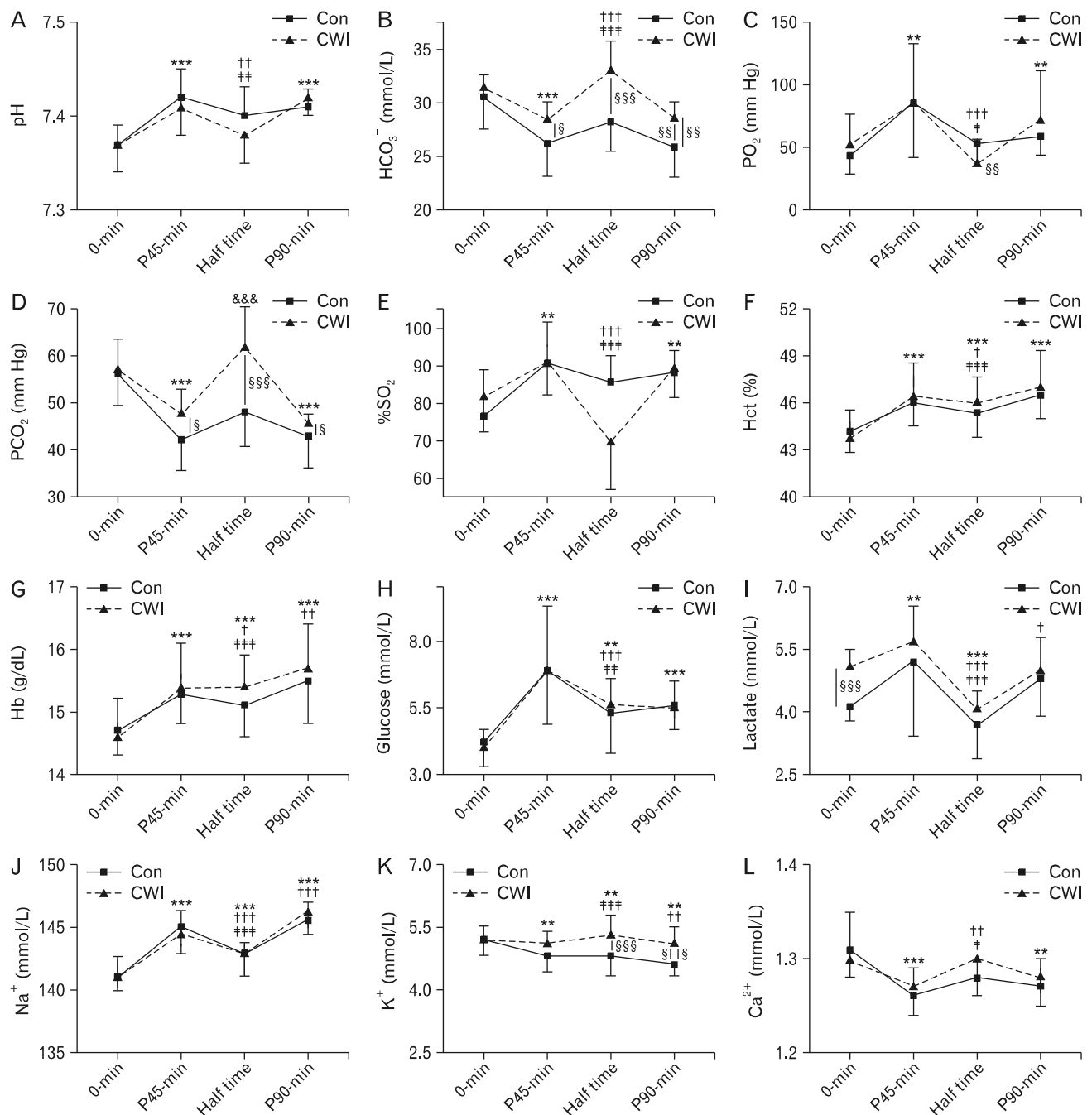
## 결 과

### 1. 피험자의 신체적 특성 비교

저온 침수군과 휴식군의 신체적 특성을 비교한 결과, 나이, 선수 경력, 신장, 체중, 최대 산소섭취량, 분당 최대 호흡수, BTPS (body temperature, pressure, and saturated) 조건에서의 최대 환기량, 최대 호흡교환비율, 최대 대사당량(maximum metabolic equivalent)의 유의한 차이를 나타내지 않았다( $p>0.05$ ) (Table 1).



**Fig. 2.** Changes in (A) body mass, (B) body temperature, (C) mean heart rate (the first and second half of Con vs. CWI), (D) maximum heart rate, (E) total heart rate, (F) total distance covered, (G) cumulative distance, and (H) sectional distance following CWI and Con. (A, B) Significant difference to 0-min (main effect of time,  $**p < 0.01$ ,  $***p < 0.001$ ), to P45-min ( $^{\dagger\dagger\dagger}p < 0.001$ ), and to P90-min ( $^{\dagger\dagger\dagger}p < 0.001$ ). Significantly different from Con (main effect of group,  $^{\dagger}p < 0.05$ ,  $^{\dagger\dagger}p < 0.01$ ,  $^{\dagger\dagger\dagger}p < 0.001$ ). (C, D) Significant difference to the first-half 15-min ( $*p < 0.05$ ). (H) Significant difference to 0-15 min ( $*p < 0.05$ ), ~60 min ( $^{\dagger}p < 0.01$ ). Values are presented as mean (standard deviation). Con: control group, CWI: cold water immersion group, 0-min: before soccer match was kicked off, P45-min: immediately after the end of the first half during soccer match, half time: 15-minute break time between the first half and the second half during soccer match, P90-min: immediately after the end of the second half during soccer match.



**Fig. 3.** Changes in (A) pH, (B)  $\text{HCO}_3^-$ , (C)  $\text{PO}_2$ , (D)  $\text{PCO}_2$ , (E) oxygen saturation, (F) hematocrit (Hct), (G) hemoglobin (Hb), (H) glucose, (I) lactate, (J) sodium, (K) potassium, (L) calcium concentration following CWI and Con. Significant difference to 0-min (main effect of time, \*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001), P45-min (†p<0.05, ††p<0.01, †††p<0.001), P90-min (†p<0.05, ††p<0.01, †††p<0.001). Significant difference from Con (main effect of group, §p<0.05, §§p<0.01, §§§p<0.001). Significant difference to P45-min and P90-min (&&&p<0.001). Values were expressed by means (standard deviation). Con: control group, CWI: cold water immersion group, 0-min: before soccer match was kicked off; P45-min: immediately after the end of the first half during soccer match; half time, 15-minute break time between the first half and the second half during soccer match; P90-min, immediately after the end of the second half during soccer match.

## 2. 축구 하프타임 휴식 중 저온 침수 처치가 체중, 체온, 심박수, 이동거리의 변화에 미치는 영향

체중은 저온 침수군과 휴식군 사이에 처치와 측정 시기 간에는 상호작용이 나타나지 않았으나, 측정 시기 간에는 유의한 차이가 나타났다( $p < 0.001$ ). 즉, 축구 경기 시간의 흐름에 따라 휴식군(0분,  $71.60 \pm 2.4$  kg; 90분 후,  $70.0 \pm 2.5$  kg), 저온 침수군(0분,  $70.2 \pm 6.5$  kg; 90분 후,  $68.4 \pm 6.6$  kg) 각각 체중이 감소한 것으로 나타났다( $p < 0.001$ ). 체온은 저온 침수군과 휴식군 사이에 처치와 측정 시기 간에 유의한 상호작용 효과를 나타냈다( $p < 0.001$ ). 저온 침수군에서 휴식군과 비교해 전반적으로 낮은 체온을 유지하는 것으로 나타났으며( $p < 0.01$ ), 각각의 시간대에서 두 군 간 평균 차를 비교한 결과, 하프타임 휴식 후의 체온은 휴식군보다 저온 침수군이 유의하게 낮은 것으로 나타났다(휴식군,  $36.7^\circ\text{C} \pm 0.2^\circ\text{C}$  vs. 저온 침수군,  $35.0^\circ\text{C} \pm 1.2^\circ\text{C}$ ;  $p < 0.001$ ). 심박수와 이동거리는 저온 침수군과 휴식군 사이에 처치와 측정 시기 간에는 상호작용이 나타나지 않았으나, 심박수는 휴식군(전반 15분 [ $174.1 \pm 0.2$  beats/min] vs. 후반 15분 [ $165.9 \pm 9.2$  beats/min])과 저온 침수군(전반 15분 [ $172.3 \pm 9.8$  beats/min] vs. 후반 15분 [ $161.5 \pm 8.7$  beats/min]) 모두 전·후반 동일 시간대에서 각각 유의하게 낮게 나타났다( $p < 0.05$ ). 이동거리는 시간의 경과에 따라 뚜렷한 감소 경향을 보여 저온 침수군과 휴식군 모두 전·후반 모두에서 최초 15분의 이동거리가 가장 많은 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ) (Fig. 2).

## 3. 축구 하프타임 휴식 중 저온 침수 처치가 생리적 지표 변화에 미치는 영향

축구 하프타임 휴식 중 저온 침수 처치가 가져온 생리적 지표 변화(glucose, lactate,  $\text{PO}_2$ ,  $\text{PCO}_2$ ,  $\%\text{SO}_2$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ )를 살핀 결과, 저온 침수군과 휴식군 사이에 처치와 측정 시기 간에는 상호작용이 나타나지 않았으나, 측정 시기 간에는 유의한 주효과를 나타냈다( $p < 0.05$ ).  $\text{HCO}_3^-$ 의 경우에는 두 요인 간 유의한 상호작용 효과를 나타냈으며( $p < 0.05$ ), 저온 침수 처치( $p < 0.01$ )와 측정 시기( $p < 0.001$ )에 대한 요인별 주효과를 검증한 결과에서도 개별 요인에 대해 유의한 효과를 나타냈다. 전반적으로 휴식군과 비교해 저온 침수 처치군 내  $\text{HCO}_3^-$  농도는 높은 상태를 유지했으며(휴식군,  $25.7\text{--}30.6$  mmol/L vs. 저온 침수군,  $28.6\text{--}33.1$  mmol/L;  $p < 0.01$ ), 개별 군 내 시간 경과에 따른 변화를 살핀 결과에서는 저온 침수 처치군에서는 경기 전과 비교해 45분 후와 90분 후의 시점에서 유의한 감소를 나타냈으나( $31.6 \pm 1.0$  to  $28.5 \pm 1.5$  mmol/L;  $p < 0.001$ ), 전반전 휴식(하프타임)에서는 오히려 증가하는 경향을 보여 45분 후( $28.5 \pm 1.5$  mmol/L) 및 90분

후( $28.6 \pm 1.4$  mmol/L)보다 유의하게 높은 수치를 나타냈다( $p < 0.001$ ) (Fig. 3).

## 4. 축구 하프타임 휴식 중 저온 침수 처치가 염증 및 면역 지표 변화에 미치는 영향

혈중 염증 지표를 살핀 결과 interleukin (IL)-1b, IL-6, IL-8, IL-10 모두에 대해 요인 간 상호작용 효과는 나타나지 않았으며, IL-10에서만 시간에 따른 유의한 주효과를 나타냈다( $p < 0.001$ ) (Table 2). Tumor necrosis factor (TNF)- $\alpha$ 와 vascular endothelial growth factor (VEGF) 변화를 살핀 결과에서는 두 요인 간 유의한 상호작용 효과를 나타내지 않았으며, VEGF에서 시간에 대한 주효과가 나타났다( $p < 0.001$ ). 혈중 면역 지표를 살핀 결과, immunoglobulin (Ig) G1, IgG2, IgG3, IgG4, IgA와 IgM에서 시간의 경과에 따른 증가 양상이 뚜렷하게 나타나긴 했으나, 어떠한 변인에 대해서도 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 3).

## 고 찰

본 연구에서는 대학 축구 선수들을 대상으로 전반전 경기 종료 직후 체온 하강을 목적으로 저온 침수 처치를 실시하여 후반전 경기력에 영향을 미칠 수 있는 관련 변인 및 다양한 혈중 생리, 염증, 그리고 면역 지표의 효과를 밝히고자 하였다. 모든 신체적(두 군 간 키, 몸무게), 생리적(최대 산소섭취량, 분당 최대 호흡수, 최대 환기량, 최대 호흡교환비율, 최대 대사당량, 수축기와 이완기 혈압) 지표를 비교한 결과 휴식군과 저온 침수군 간에 통계적인 차이를 나타내지 않았다. 이는 신체 및 유산소적 지표에 차이가 없었음을 반영하는 것으로 실험군의 배경이 적절하게 이루어졌음을 나타내는 것이라 하겠다.

## 1. 축구 하프타임 휴식 중 저온 침수 처치가 체중, 체온, 심박수, 이동거리의 변화에 미치는 영향

본 연구에서 축구 경기 중 체중 감소율을 비교해본 결과 저온 침수군과 휴식군 사이에 유의한 체중의 차이를 나타내지 않은 것으로 나타났다. 저온 침수군은 후반 경기 종료 후 1.7 kg (2.6%)의 체중 감소가 나타난 반면 휴식군에서는 1.8 kg (2.2%)의 체중 감소가 나타났다. 흥미로운 것은 저온 침수 군에서는 대부분의 체중 감소가 전반전을 마치고 나타난 반면 휴식군에서는 전반전과 후반전의 감소 정도가 비슷하게 나타났다는 점이다. 이는 저온 침수 처치를 통한 체온 하강의 효과를 통해 후반전의 발한량 감소가 유도되지는 않았으나 후반 15분에서 가장 많은 이동거리를 나타낸 것을 고려해볼 때 경기력에 의미있는 효과를 나타낸

**Table 2.** Comparison between control and cold water immersion conditions for inflammatory response during soccer match

Variable		Time				p-value			
		0-min	P45-min	Half time	P90-min	Main effect (group)	Group	Time	Group × time
IL-1b	Con	1.00	2.09±0.00	0.98±0.00	2.34±0.00	1.60±0.00	1.000	<0.001	1.000
	CWI	1.00	2.09±1.02**	0.98±0.87 <sup>†††,†</sup>	2.34±1.35*	1.60±1.01			
	Main effect (time)	1.00	2.09±0.70***	0.98±0.60 <sup>†††,†††</sup>	2.34±1.35***				
IL-6 <sup>§</sup>	Con	1.00	0.52±0.00	0.72±0.00	0.44±0.00	0.67±0.00			
	CWI	1.00	0.52±0.00	0.72±0.00	0.44±0.00	0.67±0.00			
	Main effect (time)	1.00	0.52±0.00	0.72±0.00	0.44±0.00				
IL-8	Con	1.00	1.01±0.40	1.35±1.24	0.84±0.40	1.05±0.82	0.555	0.401	0.609
	CWI	1.00	1.15±0.51	0.72±0.54	0.96±0.41	0.96±0.49			
	Main effect (time)	1.00	1.08±0.45	1.03±0.99	0.90±0.40				
IL-10	Con	1.00	1.03±0.21	1.95±0.62***, <sup>††</sup>	1.63±0.33***, <sup>†††</sup>	1.40±0.40	0.333	<0.001	0.645
	CWI	1.00	1.23±0.33	1.80±0.31***, <sup>†††</sup>	1.89±0.83***, <sup>††</sup>	1.48±0.53			
	Main effect (time)	1.00	1.13±0.29*	1.88±0.48***, <sup>†††</sup>	1.76±0.63***, <sup>†††</sup>				
TNF-α	Con	1.00	1.20±0.90	0.93±0.04***, <sup>†††</sup>	0.64±0.19***	0.94±0.51	0.377	<0.001	0.737
	CWI	1.00	0.90±0.35	0.95±0.26	0.58±0.30***, <sup>†††</sup>	0.86±0.29			
	Main effect (time)	1.00	1.05±0.68	0.94±0.18 <sup>†††</sup>	0.61±0.25***, <sup>†</sup>				
VEGF	Con	1.00	0.96±0.40	0.96±0.32	1.12±0.15*	1.01±0.32	0.357	0.151	0.841
	CWI	1.00	1.19±0.19*	0.98±0.20 <sup>††</sup>	1.16±0.40	1.08±0.29			
	Main effect (time)	1.00	1.07±0.33	0.97±0.26 <sup>†</sup>	1.14±0.30*				

Values are presented as mean±standard deviation unless otherwise specified.

0-min: before soccer match was kicked off, P45-min: immediately after the end of the first half during soccer match, half time: 15-minute break time between the first half and the second half during soccer match, P90-min: immediately after the end of the second half during soccer match, Con: control group, CWI: cold water immersion group, IL: interleukin, TNF: tumor necrosis factor, VEGF: vascular endothelial growth factor.

Significant difference to 0-min (\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001), to P45-min (<sup>†</sup>p<0.05, <sup>††</sup>p<0.01, <sup>†††</sup>p<0.001), and to P90-min (<sup>†</sup>p<0.05, <sup>†††</sup>p<0.001). <sup>§</sup>Most of samples were read as a minimal detectable range.

결과라 생각된다. 저온 침수 처치를 통한 체온 하강의 효과를 통해 후반전의 발한량 감소의 가능성을 생각해 볼 수 있다. 이와 함께, 총 이동거리를 비교한 결과 휴식군이 더 많은 거리를 이동한 것으로 나타났으나(휴식군, 7,912.9±521.1 m vs. 저온 침수군, 7,056.8±1,274.0 m), 실제 이동 거리에 통계적 유의한 차이는 없었다. 두 실험군 모두에서 나타난 체중의 감소는 경기 중 움직임의 양상(중강도 속도 이상의 달리기, 스프린트, 점프 등)에 영향을 받았을 것으로 생각된다. 경기에 따른 체온의 변화를 살핀 결과에서는 두 군 모두에서 전반전 종료 직후 전반 시작 시점의 체온과 비교해 유의하게 상승한 결과를 나타낸 후, 하프타임 휴식 중 유의한 저하를 나타냈다. 하지만 하프타임 휴식 중 저온 침수군에서는 체온 하강 폭이 유의하게 크게 나타나, 저온 침수 처치를 통한 유의한 체온 하강의 효과를 확인할 수 있었다(p<0.001).

이러한 결과는 Siegel 등<sup>8</sup>의 연구 결과와 유사한 것으로, 저온 침수 처치가 땀샘(sweat gland)의 동원 억제와 체온의 하강 효과를 통해 후반전의 발한량 감소를 유도한 것으로 유추할 수 있다. 축구 경기 중 정상급 프로 선수들의 경기 중 이동거리는 8-12 km를 나타내며<sup>9</sup>, 영국 프리미어 리그에서 활약하는 일부 선수들의 경우에는 경기 중 15 km 이상의 거리를 움직인다<sup>1</sup>. 이에 반해 국내 정상급의 프로 축구 선수들을 대상으로 수행한 연구 결과에서는 9.82±1.04 km의 평균 이동거리를 나타내 외국의 정상급 선수들에 못 미치는 결과를 나타내었다<sup>10</sup>. 본 연구에서의 경기 중 이동거리는 두 군 모두에서 7-8 km에 그치고 있어 국내 정상급 프로 선수들을 대상으로 한 연구 결과와 상당한 차이가 있다고 하겠다. 이동거리의 이와 같은 차이는 것은 선수들의 경기력 수준 및 경기 운영의 차이에 기인했을 가능성과, 경기에서의 팀 전술적

**Table 3.** Comparison between control and cold water immersion conditions for immune response during soccer match

Variable		Time				p-value			
		0-min	P45-min	Half time	P90-min	Main effect (group)	Group	Time	Group ×time (p-value)
IgG1	Con	1.00	1.08±0.29	0.75±0.50	0.70±0.44	0.88±0.39	0.275	0.515	0.146
	CWI	1.00	0.92±0.64	1.39±1.60	1.90±2.67	1.30±1.65			
	Main effect (time)	1.00	1.00±0.49	1.07±1.20	1.30±1.97				
IgG2	Con	1.00	1.46±0.94	0.68±0.65	1.04±0.97	1.04±0.73	0.162	0.166	0.100
	CWI	1.00	1.17±1.11	1.63±1.55	3.26±4.38	1.76±2.76			
	Main effect (time)	1.00	1.31±1.01	1.15±1.26	2.15±3.29				
IgG3	Con	1.00	1.34±0.74	0.96±1.35	2.66±5.58	1.49±2.46	0.870	0.216	0.827
	CWI	1.00	1.10±1.01	1.53±1.45	1.93±1.97	1.39±1.41			
	Main effect (time)	1.00	1.22±0.87	1.25±1.39	2.30±4.09				
IgG4	Con	1.00	1.18±0.38	0.73±0.63	0.69±0.54	0.90±0.50	0.182	0.378	0.056
	CWI	1.00	0.91±0.65	1.42±1.37	2.10±2.16	1.33±1.29			
	Main effect (time)	1.00	1.04±0.54	1.07±1.10	1.35±1.68				
IgA	Con	1.00	1.13±0.39	0.76±0.53	0.87±0.80	0.94±0.49	0.239	0.433	0.077
	CWI	1.00	0.95±0.65	1.20±0.92	1.56±1.04	1.18±0.86			
	Main effect (time)	1.00	1.04±0.53	0.98±0.77	1.21±0.97				
IgM	Con	1.00	1.20±0.51	0.71±0.74	1.03±1.39	0.99±1.91	0.255	0.306	0.191
	CWI	1.00	1.11±1.14	1.59±1.60	1.90±2.06	1.40±1.68			
	Main effect (time)	1.00	1.16±0.86	1.15±1.30	1.47±1.77				

Values are presented as mean±standard deviation unless otherwise specified.

0-min: before soccer match was kicked off, P45-min: immediately after the end of the first half during soccer match, half time: 15-minute break time between the first half and the second half during soccer match, P90-min: immediately after the end of the second half during soccer match, Con: control group, CWI: cold water immersion group, Ig: immunoglobulin.

운용의 차이에서 발생되었을 가능성을 고려할 수 있다. 전반전과 후반전의 이동거리의 변화를 살펴 결과에서는 두 군 모두에서 후반전에서의 이동거리가 전반전보다 감소하는 결과를 나타냈다. 이와 같은 결과는 경기가 진행되면서 피로 물질의 축적 및 에너지 기질의 저장량 감소(특히, 개별 근섬유 내 글리코겐의 감소량의 변화)가 주요한 요인으로 판단된다<sup>11</sup>.

## 2. 축구 하프타임 휴식 중 저온 침수 처치가 혈중 생리 지표에 미치는 영향

혈중 pH는 전반전 종료 후 두 군 모두에서 상승하는 결과가 나타났다. 하프타임 휴식 후에는 휴식군은 7.40±0.03으로 여전히 경기 전과 비교해 높은 수치를 보였으며, 저온 침수군에서는 7.38±0.03을 나타내 경기 시작 전과 차이를 보이지 않았고, 전반 종료 시의 수치와 비교해서는 유의하게 낮아진 수치를 보였다. 이와 같은 수치의 변화는 전반 경기 중 고강도의 운동을 수행했음에도 불구하고 선수들이 충분한 산소 공급 역량과 생성되는 수소이온(H<sup>+</sup>) 제거 능력을 보유하고 있었음을 반영하는 것이라 해석된다. 중탄산염(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)의 변화를 살펴 결과에서는 전반적으로

두 군 간 유의한 차이를 나타내 저온 침수 처치의 효과가 나타났다. 이는 하프타임 휴식 중 저온 침수 처치가 중탄산염의 생성을 현격하게 증가시킨 것으로 해석되며 이를 통해 생성되는 수소이온의 제거 역량이 향상되었을 것으로 판단된다. 이와 같이 상승된 중탄산염 수치는 후반전 경기 종료 시에도 대조군과 비교해 높은 상태를 유지한 것으로 나타나, 체내 산성화를 막는 데 긍정적으로 작용했을 것이라 생각되는 부분이다. 저온 침수 처치에 따른 산소 분압(PO<sub>2</sub>)과 이산화탄소 분압(PCO<sub>2</sub>)을 살펴 결과, 저온 침수 처치군은 경기 시작 전과 비교해 유의한 차이를 나타내지 않지만 전반 종료 시와 비교해서는 유의하게 증가했다. 이와 같은 결과는 하프타임 휴식 중 저온 침수 처치가 조직으로의 산소 전달 및 조직의 산소 섭취 역량 향상과 맞물려 조직의 이산화탄소 생성량 증가를 유도해 냈다는 것을 추정할 수 있는 것이며, 이산화탄소 생성량의 증가는 곧 조직 내에서의 에너지 생성을 위한 유산소 대사 작용이 활발하게 이루어졌음을 반영하는 결과로 볼 수 있다. 이와 함께, 중탄산염과 이산화탄소의 변화 양상이 서로 유사하게 나타났는데(Fig. 2B and D), 이는 근육에 축적된 젖산(lactate+H<sup>+</sup>)과 체내 완충제 역할을 하는 중탄산이온이 수소



이온과 결합해(즉,  $H^+ + HCO_3^- \leftrightarrow CO_2 + H_2O$ ) 이산화탄소로 산화되어 나타난 결과로 생각된다. 산소포화도(%SO<sub>2</sub>)는 휴식군의 수치와 비교해 유의하게 낮았는데, 이는 저온 침수 처치를 통해 조직으로의 산소 공급량이 늘어났음을 나타내는 것으로 혈액의 산소 분압이 더 낮게, 이산화탄소 분압이 높게 나타났다는 결과와 관련이 매우 깊은 의미를 내포하고 있다 하겠다. Roberts 등<sup>12</sup>은 저항성 운동 후 저온 침수 처치가 최대하 근 기능의 회복 향상에 미치는 영향에 대한 연구에서, 저온 침수 처치 후 산소포화도의 감소와 이산화탄소의 증가를 관찰하면서 골격근에서의 산소 추출 증가를 제시한 바 있다. 이는 본 연구 결과를 지지하는 것으로, 조직의 산소 공급 증가가 결국 전반 종료 후 조직의 에너지 생성과 공급의 균형 유지에 기여했을 것이라 판단되며, 이를 통해 근육 조직 등에 발생한 말초 피로의 회복을 촉진시켜 후반 경기를 위한 신체 에너지 공급의 비축 기질의 확보로 작용했을 것이라는 점을 추측할 수 있다. 이는 전반적인 경기력의 향상을 위해 매우 의미 있게 주목해야 할 결과라 할 수 있다. 하지만, 실험에 적용된 운동의 형태에 따른 자율신경조절(autonomic regulation), 피부 온도, 근육 온도, 심부 온도에 미치는 영향은 다를 수 있으므로 이들 요인들을 고려한 해석이 필요할 것이다<sup>4</sup>. 이와 함께, 트레이닝 프로그램 후 정기적인 저온 침수 처치(15°C) 저항성 트레이닝 적응 지표(1 RM, 등척성 근력, 근 지구력, 탄성 수행력)를 감소시키거나 유산소 운동 수행력(time trial의 평균 파워 및 수행력, 최대 유산소 파워)에는 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있어<sup>4</sup> 저온 침수의 온도, 빈도, 기간, 운동 형태를 면밀히 분석해 스포츠 현장에 적용해야 할 것으로 생각된다.

경기 중 헤모글로빈과 혈액소 용적률의 변화를 살핀 결과, 두 군에서 차이를 나타내지 않았으나 경기가 진행됨에 따라 군에 상관없이 유의하게 증가함을 보였다. 이는 두 지표 모두가 체내 수분량 변화에 민감하게 반응한다는 사실로 확인할 수 있으며, 두 군 모두에서 경기가 진행됨에 따라 체중의 유의한 감소가 나타난 것과 맥락을 함께 하는 결과라 할 수 있다. 혈중 에너지 기질의 공급과 사용이란 측면에서 포도당과 젖산 농도의 변화를 살폈다. 혈중 포도당 농도는 전반전 경기 중 유사한 양상을 보이며 유의하게 증가하였다. 이는 고강도의 운동과 함께 생리적으로 근육 및 간에 저장된 당원의 분해를 급격히 자극함으로써 근 조직에서 요구하는 에너지량을 충족시키고자 인슐린 분비량 감소를 통해 혈중 포도당 농도를 높이는 작용을 한 것으로 생각된다. 혈중 젖산 농도의 변화는 제2젖산 역치점으로 제시되고 있는 4 mmol/L를 초과하는 것으로, 경기 중 운동 강도가 최대 심박수 기준의 85%를 상회하고 있는 결과와 그 맥락을 함께 하는 결과라 할 수 있다. Stølen 등<sup>1</sup>은 축구 경기 중 혈중 젖산 농도의 변화를

살핀 후, 전반전에 비해 후반전 후의 젖산 수치가 낮게 유지된다고 발표한 바 있다. 본 연구도 이러한 선행 연구들의 결과와 일치하고 있어 전반전 종료 후 5.5 mmol/L을, 후반전 종료 후 ~4.9 mmol/L을 나타내 전반전과 비교해 후반전에서 낮은 젖산 수치를 나타냈다. 이와 같은 결과는 선행 연구에서 밝히고 있는 바와 같이 후반전에서의 이동거리 감소와 맥락을 같이 하는 것이라 할 수 있으며<sup>13</sup>, 최대 산소섭취량이 더 높게 나타나는 선수에서 혈중 젖산 수치는 낮게 나타나는데 이는 고강도의 간헐적 운동으로부터의 회복 역량 향상, 증가된 유산소성 반응, 향상된 젖산 제거 역량 및 인산크레아틴(phosphocreatine) 재생성 역량 향상 등과 관련되는 것으로 알려져 있다<sup>14</sup>.

### 3. 축구 하프타임 휴식 중 저온 침수 처치가 혈중 이온 농도의 변화에 미치는 영향

격렬한 운동 수행 중 이온 항상성의 조절 시스템을 유지하는 것은 중요하며 이는 Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> ATPase가 조절한다<sup>15</sup>. 본 연구에서는 Na<sup>+</sup>의 농도 변화는 전반전 종료 후 두 군 간 차이를 나타내지는 않았으나, 경기 시작 전과 비교해 유의하게 증가하는 현상을 보였다. 이는 경기 중 수분 소실량과 비교해 Na<sup>+</sup> 소실량이 적어 결과적으로 세포외액 내 Na<sup>+</sup> 농도가 상승했음을 반영하는 것이다. 경기 중 K<sup>+</sup> 농도의 변화는 저온 침수 처치 후 휴식군과 비교해 유의하게 높은 것으로 나타났다. 이는 저온 침수 처치가 K<sup>+</sup> 농도의 저하를 완화시켰음을 나타내는 결과로 볼 수 있으며, 저온 침수로 인해 낮아진 체온이 Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> ATPase의 활성을 일시적으로 제한한<sup>16</sup> 영향으로도 유추할 수 있으나 이에 대한 가능성은 제한적이라 생각된다.

### 4. 축구 하프타임 휴식 중 저온 침수 처치가 면역 조절 인자 발현에 미치는 영향

축구 경기에 있어 후속 경기에 임하기 전 완전한 회복을 이룰 수 있는 역량은 선수들의 수행력 유지뿐 아니라 부상 예방을 위해서도 중요하다. 특히, 염증성과 항염증성 반응의 적절한 균형은 근육 재형성에 중요하다. IL-6는 운동과 관련된 기계적 부하로 인해 항염증성 반응으로 작용하므로 “염증 반응성” 마이오카인(myokine)이며, TNF- $\alpha$  생성을 억제하고 IL-10 생성을 향상시키므로 항염증 효과도 있는 것으로 알려져 있다<sup>17</sup>. 저온 침수 처치는 낮은 온도로 야기되는 말초 혈관 수축과 정수압(hydrostatic pressure)으로 인해 림프관과 모세혈관의 투과성을 감소시키며 이로 인해 감소된 체액 확산은 염증성 세포 침윤과 부종 형성의 감소에 도움을 주는 것으로 알려져 있다<sup>18</sup>. 본 연구에서는 축구 경기에 따른 염증지표(IL-1b, IL-6, IL-8, IL-10, TNF- $\alpha$ , VEGF)의

뚜렷한 변화를 관찰하지 못하였다. Rowsell 등<sup>19</sup>은 주니어 축구선수들을 대상으로 저온 침수 처치를 한 결과, 염증 지표(IL-6, IL-10)에는 영향을 미치지 않았으나 피로 개선과 다리 통증이 감소했다고 보고하였다. Siqueira 등<sup>20</sup>은 운동으로 근육 손상을 유도한 후 저온 침수 처치한 결과, IL-6, IL-10의 변화는 나타나지 않았으나, TNF- $\alpha$ 는 24시간 후 증가했다고 보고하였다. 이러한 결과들은 운동 중 훈련된 선수의 경우 염증성 반응이 증가할 수 있으나<sup>21</sup>, 이에 대한 빠른 억제 기전이 cytokine, leukotrienes, 또는 prostaglandins의 매개로 하향 조절될 수 있음을 생각해볼 수 있다<sup>22</sup>. IL-10의 발현 양상은 IL-8과 다르게 나타나 실험 전반을 통해 두 군 간 유의한 차이는 나타나지 않았으나, 하프타임 휴식시간을 기점으로 실험군과 무관하게 유의한 증가가 나타났으며 후반 경기까지도 증가된 양상이 지속되었음을 보였다. 이와 같은 결과는 훈련된 지구성 선수의 경우 안정 시 IL-10 생성과 조절 T세포(regulatory T cells) 발현으로<sup>23</sup> 염증 인자 발현의 증가를 억제시키는 효과를 발휘한 것으로 생각된다. 하지만, 본 연구의 축구 경기에 따른 염증 인자의 변화는 작은 샘플 사이즈로 인해 저온 침수 처치의 실제적 효과를 설명하기에는 부족함이 있으므로 이를 고려한 해석이 필요할 것이다. 면역글로불린(Ig)은 항원(바이러스, 박테리아)과 유해한 물질로부터 보호하는 역할을 한다<sup>24</sup>. 혈중 면역조절인자의 변화를 살핀 결과에서 모든 지표들의 변화 양상이 일정하게 나타남을 확인할 수 있었다. 모든 면역글로불린(IgG1, IgG2, IgG3, IgG4, IgA, IgM) 인자들에 대해 휴식군과 비교해 저온 침수군에서는 전반 종료 시까지는 그 변화가 미미하였으나 저온 침수 처치 후 상승되는 현상을 보여 후반 종료 시까지도 휴식군과의 차이를 유지하는 결과를 나타냈다. 이와 같은 결과는 체내 면역 조절 기전이 저온 침수 처치를 통해 활성화되어 운동 중 발생하는 염증 및 손상의 예방을 위해 안정성 있게 유지된 것으로 해석될 수 있겠다. 이와 같은 결과는 경기 후 회복에 긍정적으로 작용해, 후속 경기 준비를 위한 훈련으로의 신속한 복귀를 통해 경기력 향상에 긍정적으로 기여할 수 있을 것으로 생각된다. 하지만, Jansky 등<sup>25</sup>은 저온 침수에 순화되지 않은 10명 남성을 대상으로 반복적인 저온 침수 처치(주당 3일, 6개월)를 시행하여 IgG, IgA, IgG의 변화가 나타나지 않음을 보고하였다. 따라서, 장기간 또는 반복적 저온 침수 처치 시의 온도, 빈도, 기간에 따른 생리적, 면역, 염증 반응에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결론적으로, 저온 침수 처치는 체온 상승을 억제하는 동시에, 혈중 완충 역량과 함께 골격근의 산소 전달 역량을 향상시키는 것으로 판단된다. 저온 침수에 따른 중추 피로 조절 기전과 관련된 호르몬의 변화를 세부적으로 밝히는 후속 연구가 필요하다.

## Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

## ORCID

Jongsam Lee <https://orcid.org/0000-0003-2344-5179>

## Author Contributions

Conceptualization: JL. Data curation: SH, KA, JK. Methodology: YK, KP. Writing—original draft: SP. Writing—review & editing: SH, JL.

## References

1. Stølen T, Chamari K, Castagna C, Wisløff U. Physiology of soccer: an update. *Sports Med* 2005;35:501-36.
2. Hoff J. Training and testing physical capacities for elite soccer players. *J Sports Sci* 2005;23:573-82.
3. Mohr M, Krstrup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci* 2003;21:519-28.
4. Malta ES, Dutra YM, Broatch JR, Bishop DJ, Zagatto AM. The effects of regular cold-water immersion use on training-induced changes in strength and endurance performance: a systematic review with meta-analysis. *Sports Med* 2021;51:161-74.
5. Brandner B, Munro B, Bromby LM, Hetreed M. Evaluation of the contribution to postoperative analgesia by local cooling of the wound. *Anaesthesia* 1996;51:1021-5.
6. Peiffer JJ, Abbiss CR, Watson G, Nosaka K, Laursen PB. Effect of a 5-min cold-water immersion recovery on exercise performance in the heat. *Br J Sports Med* 2010;44:461-5.
7. Ascensão A, Leite M, Rebelo AN, Magalhães S, Magalhães J. Effects of cold water immersion on the recovery of physical performance and muscle damage following a one-off soccer match. *J Sports Sci* 2011;29:217-25.
8. Siegel R, Maté J, Watson G, Nosaka K, Laursen PB. Pre-cooling with ice slurry ingestion leads to similar run times to exhaustion in the heat as cold water immersion. *J Sports Sci* 2012;30:155-65.
9. Reilly T, Williams AM. *Science and soccer*. 2nd ed. London:

- Routledge; 2003. p. 21-46.
10. Kim CH, Kim JH, Kim HJ, Ahn HC, Im JH, Kim C. Time-motion analysis on activity patterns of professional soccer players. *Korean J Phys Educ* 2007;46:407-15.
11. Krstrup P, Mohr M, Steensberg A, Bencke J, Kjaer M, Bangsbo J. Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38:1165-74.
12. Roberts LA, Nosaka K, Coombes JS, Peake JM. Cold water immersion enhances recovery of submaximal muscle function after resistance exercise. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2014;307:R998-1008.
13. Mohr M, Nybo L, Grantham J, Racinais S. Physiological responses and physical performance during football in the heat. *PLoS One* 2012;7:e39202.
14. Tomlin DL, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med* 2001;31:1-11.
15. Christiansen D, Bishop DJ, Broatch JR, Bangsbo J, McKenna MJ, Murphy RM. Cold-water immersion after training sessions: effects on fiber type-specific adaptations in muscle K<sup>+</sup> transport proteins to sprint-interval training in men. *J Appl Physiol* (1985) 2018;125:429-44.
16. Boutilier RG. Mechanisms of cell survival in hypoxia and hypothermia. *J Exp Biol* 2001;204(Pt 18):3171-81.
17. Peake J, Nosaka K, Suzuki K. Characterization of inflammatory responses to eccentric exercise in humans. *Exerc Immunol Rev* 2005;11:64-85.
18. Tipton MJ, Collier N, Massey H, Corbett J, Harper M. Cold water immersion: kill or cure? *Exp Physiol* 2017;102:1335-55.
19. Rowsell GJ, Coutts 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;27:565-73.
20. Siqueira AF, Vieira A, Bottaro M, et al. Multiple cold-water immersions attenuate muscle damage but not alter systemic inflammation and muscle function recovery: a parallel randomized controlled trial. *Sci Rep* 2018;8:10961.
21. Andersson H, Bøhn SK, Raastad T, Paulsen G, Blomhoff R, Kadi F. Differences in the inflammatory plasma cytokine response following two elite female soccer games separated by a 72-h recovery. *Scand J Med Sci Sports* 2010;20:740-7.
22. Weinstock C, König D, Harnischmacher R, Keul J, Berg A, Northoff H. Effect of exhaustive exercise stress on the cytokine response. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29:345-54.
23. Handzlik MK, Shaw AJ, Dungey M, Bishop NC, Gleeson M. The influence of exercise training status on antigen-stimulated IL-10 production in whole blood culture and numbers of circulating regulatory T cells. *Eur J Appl Physiol* 2013;113:1839-48.
24. McKune AJ, Smith LL, Semple SJ, Mokethwa B, Wade AA. Immunoglobulin responses to a repeated bout of downhill running. *Br J Sports Med* 2006;40:844-9.
25. Janský L, Pospíšilová D, Honzová S, et al. Immune system of cold-exposed and cold-adapted humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1996;72:445-50.