

## 운동 후 전신냉각요법 처치가 염증, 산화스트레스 및 혈액 구성에 미치는 영향

### Effects of Post-Exercise Whole-Body Cryotherapy on Inflammation, Oxidative Stress, and Hematology Parameters

김태경(한국체육대학교 교수) · 장용철\*(한국체육대학교 교수)

Tae-Kyung Kim *Korea National Sport University* · Yongchul Jang *Korea National Sport University*

#### 요약

고강도 운동은 미세한 근육 손상과 통증을 유발할 수 있으며, 운동 후 손상된 근육을 회복하기 위해 다양한 방법들이 사용되고 있다. 냉각요법(Cryotherapy)은 부종, 통증, 근육 경련 및 다양한 질병의 증상을 완화 시키는 것으로 보고되고 있으며, 조직의 온도, 혈류량, 세포의 부종 및 신진대사를 낮추고, 신경 전도 속도를 조절하여 진통의 효과를 나타낸다. 특히, 전신냉각요법(whole-body cryotherapy)은 온도 조절 챔버를 통해 차가운 공기를 이용하여 약  $-110^{\circ}\text{C}$ 에서  $-190^{\circ}\text{C}$ 로 유지되는 저온 환경에서 2~3분 동안 전신을 급성 노출시켜 체온을 낮추는 방법으로 최근 여러 스포츠 분야에서 많이 활용되고 있다. 선행 연구에 통해 전신냉각요법은 운동 후 회복에 효과적인 방법으로 제시하고 있다. 하지만 아직까지 대상자에 따른 구체적인 프로토콜은 정해져 있지 않으며, 그 기전에 관한 연구는 부족한 실정이다. 본 고찰은 전신냉각요법이 운동 후 염증, 산화스트레스 및 혈액 구성 개선을 통해 운동 후 회복에 미치는 주요기전에 대한 근거를 제공할 것이다.

핵심 단어: 전신냉각요법, 운동회복, 염증, 산화스트레스, 혈액 구성

#### Abstract

High-intensity exercise can cause microscopic muscle damage and pain. Therefore, a number of different methods have been used to help repair damaged muscles after exercise. Cryotherapy has been reported to relieve oedema, pain, muscle spasms and symptoms of various diseases. Cryotherapy produces analgesic effects by reducing tissue temperature, blood flow, cell swelling and metabolism, and modulating nerve conduction velocity. In particular, whole-body cryotherapy is a method of reducing body temperature by acutely exposing the whole body to a low-temperature environment maintained at approximately  $-110^{\circ}\text{C}$  to  $-190^{\circ}\text{C}$  for two to three minutes using cold air, and has recently been used in various sports field. Many studies have shown that whole-body cryotherapy is an effective method of post-exercise recovery. However, the mechanism underlying whole-body cryotherapy-induced muscle recovery and the appropriate protocols remain unclear. This review will provide evidence for the main mechanisms by which whole-body cryotherapy affects post-exercise recovery by ameliorating post-exercise inflammation, oxidative stress and hematology parameters.

Key words: Whole-body cryotherapy, Exercise recovery, Inflammation, Oxidative stress, Hematology parameters

\* ycjang28@knsu.ac.kr

## 1. 서론

신장성 혹은 장시간의 운동은 근골격계, 신경계 및 대사 체계의 스트레스를 유발하며, 운동선수의 고강도 훈련과 시합은 운동 유발성 근육손상(exercise-induced muscle damage)을 발생시킨다. 이후 급성 염증반응과 지연성 근통증(delayed-onset muscle soreness)이 나타나며, 이러한 결과는 운동수행능력에 부정적인 영향을 미칠 수 있다(Nosaka, Chapman, Newton, & Sacco, 2006). 근육의 통증과 경직이 나타나는 지연성 근통증은 운동 후 24시간에서 96시간 사이에 최고치가 나타나며, 적절한 휴식시 5일에서 7일 사이 점차 사라진다. 이러한 지연성 근통증의 생리학적 기전에 대해 정확히 밝혀지지 않았지만, 젖산, 근경련, 근조직과 결합조직의 손상 및 효소의 유출에 의해 나타난다고 보고되고 있다(Cheung, Hume, & Maxwell, 2003). 따라서 운동 후 손상된 근육을 회복하기 위해 스트레칭, 마사지, 사우나 및 전기자극(electrotherapy) 등 다양한 방법들이 사용되고 있다(Cheatham et al., 2015; Guo et al., 2017).

냉각요법(Cryotherapy)은 염증, 통증, 근육 경련, 부종, 부상 및 다양한 질병의 증상을 완화시키는 것으로 보고되고 있다. 냉각요법의 종류는 아이스팩, 저온침수처치(cold-water immersions) 및 전신냉각요법(whole-body cryotherapy) 등으로 나뉘어져 있으며, 냉각요법의 목적은 코어와 조직의 온도를 낮추고 혈류량을 조절하며, 생리학적으로 지각신경전달속도(sensory nerve conduction velocity)를 낮춰 진통의 효과를 나타낸다(Herrera, Sandoval, Camargo, & Salvini, 2010). 냉각요법은 수세기 전부터 치료 목적으로 사용하였으며, 히포크라테스는 눈과 얼음을 이용하여 환자의 부종을 감소시켰으며(Rivenburgh, 1992), 1960년대는 냉각요법이 근골격 손상(musculoskeletal injury)을 완화시켜 준다고 보고하였다(Grant, 1964). 또한 Knight et al. (2000)은 냉각요법은 운동상해 후 이차손상(secondary injury)을 억제시켜 주는 것으로 보고하였다.

고강도 운동은 근육의 온도증가와 대사스트레스(metabolic stress)를 유발하며, 이는 미토콘드리아의 활성산소종(reactive oxygen species)의 생성을 증가시켜, 근육의 미세섬유의 구조적 손상을 유발시킨다(Tee, Bosch, & Lambert, 2007). 운동 후 냉각요법 처치는 근육의 이차손상을 예방하며, 근육의 재생을 증가시키는 것으로 보고하고 있다(Ihsan, Watson, Lipski, & Abbiss, 2013). 따라서 냉각요법은 치료 목적뿐만 아니라 운동선수들의 운동 후 회복에도 효과적인 방법으로 광범위하게 사용되고 있다.

아이스팩은 스포츠 현장에서 급성 근골격계의 손상시 흔하게 사용하는 방법으로 알려져 있다. 하지만 아이스팩의 효과적인 사용 시간과 기간에 대한 과학적 임상 연구는 부족하고(Block, 2010), 부상시 장기간의 아이스팩 사용은 콜라겐 합성의 증가와 근육재생을 억제시키는 것으로 보고하고 있다(Dubois &

Esculier, 2020). 또한, 저온침수처치는 고강도 운동 후 효과적으로 피부온도와 통증을 경감시켜주는 것으로 보고하고 있으나, 선행연구를 바탕으로 효과적인 운동 회복을 위한 저온침수 처치 방법은 10°C에서 15°C의 온도에서 12~15분 동안 처치해야 한다고 제시하였다(Machado et al., 2017). 이러한 긴 시간 낮은 온도에서 수행 하는 방법은 심리적으로 불편하고 고통스러울 수 있으며, 저체온증으로 이어질 수 있다.

아이스팩과 저온침수처치가 오랜 기간 동안 스포츠 현장에서 사용되고 있지만, 전신냉각요법은 상대적으로 최근에 나온 방법으로 관심이 증가되고 있다. 1978년 Toshima Yamaguchi는 류머티즘 환자의 부종과 통증 등의 증상을 완화하기 위해 전신냉각요법 챔버를 개발하여 최초로 사용하였다. 전신냉각요법은 온도 조절 챔버를 통해 액체 질소 또는 차가운 공기를 이용하여 약 -110°C에서 -190°C로 유지되는 저온 환경에서 2~3분 동안 전신을 급성 노출시켜 체온을 낮추는 방법으로 임상과 회복 관련 연구분야에서 다양하게 사용되고 있다.

스포츠현장에서 전신냉각요법 주로 운동 후 회복시 사용되고 있지만 운동 형태(지구성, 저항성 및 복합 운동)에 따른 전신냉각요법의 온도, 시간 및 빈도에 대한 구체적인 프로토콜은 정해져 있지 않다. 하지만 선행연구에 따르면 운동 후 전신냉각요법 처치는 근육손상을 억제시켜주는 것으로 알려져 있으며, Banfi et al. (2009)은 럭비선수를 대상으로 5일간의 전신냉각요법(2분, -110°C)은 젖산탈수소효소(lactate dehydrogenase)와 혈청 크레아틴 키나아제(serum creatine kinase)의 감소시키고, Wozniak et al. (2006)은 카약선수들을 대상으로 6일간의 훈련 후 전신냉각요법은 크레아틴 키나아제 수준을 34% 감소시키는 것으로 보고하였다. 또한 전신냉각요법은 심혈관 건강, 정신 건강 및 인지 기능 향상에도 도움이 되는 것으로 보고되고 있다(Doets et al., 2021; Rymaszewska et al., 2021; Zalewski et al., 2013).

선행 연구를 통해 전신냉각요법은 운동 후 회복에 효과적인 방법으로 보고하고 있지만 전신냉각요법이 인체에 미치는 기전(mechanism)에 관한 연구들은 부족한 실정이다. 따라서 본 고찰은 전신냉각요법이 운동 후 염증, 산화스트레스 및 혈액구성 개선을 통해 운동 후 회복에 미치는 긍정적인 기전을 제시하는데 그 목적이 있다.

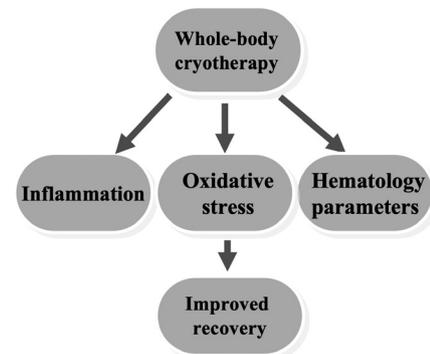


Fig 1. The mechanisms of whole-body cryotherapy-induced exercise recovery.

## II. 전신냉각요법과 염증

염증은 운동으로 인한 스트레스와 근육의 미세손상에 대한 신체의 자연스러운 현상이지만, 과도하거나 장기간의 염증 반응은 근육통, 운동 능력 저하, 부상 위험 증가로 이어질 수 있다. 따라서 운동 후 염증을 줄이고 회복할 수 있는 다양한 회복 방법이 연구되고 있으며, 특히 전신냉각요법과 같이 차가운 온도에 노출되면 혈관이 수축되어 면역세포와 염증 반응을 억제시키는 것으로 보고되고 있다.

선행 연구를 통해 전신냉각요법은 항염증성 사이토카인 수치를 높이고, 염증성 사이토카인의 분비를 감소시키는 것으로 보고하고 있으며, Pournot et al.(2011)은 11명의 성인을 대상으로 45분간 트레드밀 운동 후 3분간  $-110^{\circ}\text{C}$ 에서 전신냉각요법을 실시한 후 1, 24, 48, 72, 96시간 후 염증성 사이토카인 수치를 확인한 결과 1시간과 24시간 후 각각 염증성 사이토카인(IL-1 $\beta$ )과 C 반응성 단백질(c-reactive protein)의 감소가 나타났으며, 전신냉각요법 1시간 후 항염증성 사이토카인(IL-1ra)은 대조군과 비교하여 유의한 증가를 나타냈다. Stanek, Wielkoszyński, Bartuś, & Cholewka(2020)은 성인 남성 32명을 대상으로 10일 동안 60분간 자전거와 트레드밀 운동 후 3분간  $-120^{\circ}\text{C}$ 에서 전신냉각요법을 실시한 후 염증 내피세포(inflammatory endothelium)수준을 확인한 결과 골수세포형산화효소 활성(myeloperoxidase activity)과 혈청아밀로이드 A(serum amyloid A)의 감소를 보고하였다. 또한, Qu et al. (2022)은 12명의 중장거리 육상선수를 대상으로 운동 후 저온침수처치와 전신냉각요법을 비교하였을 때 전신냉각요법이 IL-6와 면역 활성 조절제(soluble intercellular adhesion molecule-1)를 개선한다고 보고하였다.

전신냉각요법은 운동 후 회복뿐만 아니라 운동 전 처치시 운동 후 염증수준을 완화하는 것으로 보고하고 있으며, Mila-Kierzenkowska et al. (2013)은 18명의 배구선수를 대상으로 고강도 운동 전 일회성으로 전신냉각요법(2분,  $-130^{\circ}\text{C}$ )을 실시한 결과 대조군과 비교하여 운동 후 염증성 사이토카인(IL-1 $\beta$ 과 IL-6)의 감소를 보고하였고, 이러한 결과는 운동 전 전신냉각요법의 처치는 운동 후 염증성 사이토카인의 수준을 낮출 수 있는 것으로 제시하였다. 또한, Ziemann et al. (2014)은 18명의 건강한 성인 남성 대학생을 대상으로  $-110^{\circ}\text{C}$ 에서 하루 2회, 5일간 총 10번의 전신냉각요법을 실시한 후 고강도 운동을 실행하였을 때 24시간 후 대조군과 비교하여 염증성 사이토카인(IL-6)의 감소와 항염증성 사이토카인(IL-10)의 증가를 보고하였다.

하지만 Krueger et al. (2019)은 11명의 성인 남성을 대상으로 고강도 훈련 후 3분간  $-110^{\circ}\text{C}$ 에서 전신냉각요법을 실시한 결과 24시간 후 염증성 사이토카인(IL-6, IL-10)과 C 반응성 단백질(c-reactive protein)의 변화가 나타나지 않았으며, 또한, Ziemann et al. (2014)은 운동 후 5일간 전신냉각요법을 실시한 결과 염증성 사이토카인(IL-6와 IL-1 $\beta$ )은 변화하지

않았지만, 항염증성 사이토카인(IL-10)의 증가는 나타난다고 보고하였다.

이처럼 전신냉각요법이 염증에 미치는 영향이 상이하게 나타나는데, Lubkowska et al. (2010)은 전신냉각요법의 처치 횟수에 따라 결과가 다르게 나타난다고 제시하였다. 성인 남성 15명을 대상으로 일회성 전신냉각요법(3분,  $-130^{\circ}\text{C}$ )은 30분, 24시간 후에 IL-6의 증가를 보고하였고, 45명의 성인을 대상으로 하루 한번 각각 5, 10, 20회 전신냉각요법(3분,  $-130^{\circ}\text{C}$ )을 처치하였을 때 5, 10회 처치 시 IL-1 $\alpha$ 수준은 감소하였으나 모든 처치가 끝난 2주 후에 이 수준이 다시 확인한 결과 처치 전 수준으로 증가하였다. 하지만 20회의 전신냉각요법은 IL-1 $\alpha$ 수준을 감소시켰고, 모든 처치가 끝난 2주 후에도 이 수준이 유지되는 것으로 나타났다. IL-10의 경우 5, 10, 20회 처치에 따른 증가를 보였으나 2주 후에는 모두 처치 전 수준으로 감소하였다(Lubkowska et al., 2011). 또한, 비만 성인 남성을 대상으로 생활패턴이 활동적인 그룹과 비활동적인 그룹으로 구분하여 5일간 전신냉각요법(3분,  $-110^{\circ}\text{C}$ )을 실시한 결과 두 그룹 모두 IL-10의 증가를 나타냈으며, IL-6는 비활동적인 그룹에서 만 19% 감소를 나타냈다(Ziemann et al., 2013).

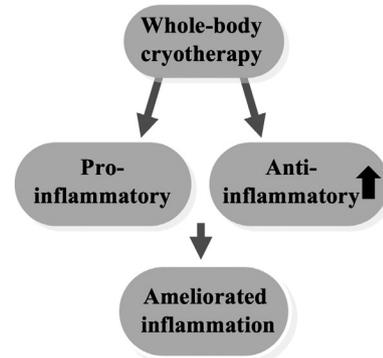


Fig 2. The mechanisms of whole-body cryotherapy - induced ameliorated inflammation by improving anti-inflammatory.

결과적으로, 전신냉각요법이 인체의 염증반응에 미치는 결과들은 대상자의 신체능력, 운동형태 및 처치 횟수에 따라 다르게 나타날 수 있지만 선행연구결과 항염증성 사이토카인의 수준이 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 고강도 운동 후 전신냉각요법은 염증 신호가 감소하면서 통증과 고통이 약화되어 운동선수가 경기 후 빠르게 회복할 수 있지만 운동 후 과도한 염증반응의 감소는 위성세포와 인산화효소의 활성을 감소시켜 근비대에 영향을 줄 수 있어 추후 전신냉각요법에 따른 염증감소가 운동수행능력에 미치는 영향에 대한 연구가 필요할 것이다.

## III. 전신냉각요법과 산화스트레스

산화 스트레스는 운동선수의 운동수행능력에 영향을 미치는 주요 요인으로 보고되고 있으며, 항산화 효소(antioxidant)와 활성산소종(reactive oxygen species)의 불균형으로 인해 나

타난다. 특히 고강도 운동은 근육의 산소소비량을 증가시키며, 활성산소종의 생성을 촉진시킨다. 과도한 활성산소종의 증가는 세포 내 단백질, 지질 및 DNA를 손상시켜 근육 피로, 통증 및 염증을 유발한다(Serra et al., 2020). 선행연구를 통해 전신냉각요법은 항산화 능력을 향상시켜 운동으로 인한 활성산소 생성을 억제할 수 있다고 보고되고 있다.

Miller, Markiewicz, Saluk, & Majsterek(2012)은 성인 남녀 46명을 대상으로 하루 한번 10일간 전신냉각요법(3분,  $-130^{\circ}\text{C}$ )을 실시한 결과 항산화 효소(superoxide dismutase)의 증가를 보고하였다. 또한 Stanek et al. (2019)은 32명의 건강한 성인을 대상으로 10일 동안 60분간 운동 후 전신냉각요법(3분,  $-120^{\circ}\text{C}$ )을 실시한 그룹과 대조군을 비교 결과 전신냉각요법 그룹에서 산화스트레스의 감소가 나타났으며, Mn-SOD(Manganese superoxide dismutase)와 총 항산화 효소의 증가가 나타났고, 대조군은 총 항산화 효소, 과산화수소분해효소(catalase) 및 글루타티온환원효소(glutathione reductase)의 감소가 나타났다.

하지만 Jurecka et al. (2023)은 32명의 성인 남성 운동 선수를 대상으로 40분간 고강도 사이클 훈련 후 일회성 전신냉각요법(2분,  $-130^{\circ}\text{C}$ )을 실시한 결과 글루타티온 과산화효소(glutathione peroxidase), 지질의 과산화(thiobarbituric acid reactive substances)는 차이가 나타나지 않았으며, 오히려 과산화수소분해효소의 감소가 나타났다고 보고하였다.

전신냉각요법의 횟수에 따라 그 결과도 다르게 나타나는데 Sutkowy, Augustyńska, Woźniak, & Rakowski(2014)은 14명의 폴란드 국가대표 카약선수를 대상으로 10일간 운동 전, 후 전신냉각요법(3분,  $-120^{\circ}\text{C}\sim-145^{\circ}\text{C}$ )을 총 20회 실시하면서 처음 처치 5, 11, 19일 후 산화적 스트레스 수준을 확인하였다. 그 결과 5일 후 글루타티온 과산화효소의 감소와 총 항산화 능력(total antioxidant capacity)의 감소가 나타났다. 하지만 19일 후 글루타티온 과산화효소는 5일 후보다 19.7% 다시 증가하였으며, 지질의 과산화를 측정한 결과 전신냉각요법 전과 5일 후 보다 각각 15.9%, 17.4% 유의한 감소를 나타냈다. 이는 전신냉각요법 횟수에 따라 상이한 결과가 나타난다고 제시하였다.

전신냉각요법은 대상자의 연령과 유산소성 능력에 따라서도 다른 결과를 나타내는데 Wojciak et al. (2020)은 40명의 남성을 대상으로 훈련을 하지 않는 노년층과 젊은 남성 각 10명과 장거리 달리기를 하는 노년층과 젊은 남성 각 10명 총 40명을 대상으로 주 3회 8주간 총 24회 전신냉각요법(3분,  $-130^{\circ}\text{C}$ )을 처치한 후 항산화 효소 수준을 확인하였다. 그 결과 1회 처치시 글루타티온 과산화효소, 항산화 효소 전사인자로 알려진 Sirtuin-1 및 총 항산화 능력이 훈련 여부와 상관없이 노년층에서 증가하였으며, 12회 처치 시 장거리 달리기를 하는 20대 젊은층에서 항산화 효소의 증가가 나타났으며, Sirtuin-1은 훈련을 하지 않는 젊은층에서 증가가 나타났다. 24회 처치 후 Sirtuin-1은 장거리 달리기를 하는 노년층과 훈련을 하지 않는 젊은층에서 증가가 나타났으며, 장거리 달리기를 하는 젊은층에

서 항산화 효소의 증가를 나타냈다.

결과적으로, 전신냉각요법이 산화스트레스에 미치는 결과들은 대상자의 연령, 신체능력 및 처치 횟수에 따라 다르게 나타날 수 있지만 선행 연구결과 항산화 효소가 증가하는 것으로 나타났다.

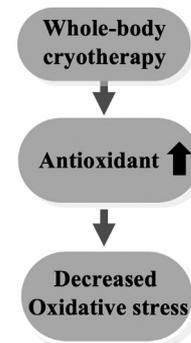


Fig 3. The mechanisms of whole-body cryotherapy - induced decreased oxidative stress by improving antioxidant.

#### IV. 전신냉각요법과 혈액 구성

전신냉각요법은 헤모글로빈, 적혈구의 수와 분포폭(red cell distribution width)의 변화를 일으키는 것으로 보고하고 있다. Lombardi et al. (2013)은 27명의 럭비선수를 대상으로 하루 2번 7일간 전신냉각요법(3분,  $-110^{\circ}\text{C}\sim-140^{\circ}\text{C}$ )을 실시한 결과 적혈구, 적혈구용적률(hematocrit), 헤모글로빈 및 평균적혈구혈색소량(mean corpuscular hemoglobin content)의 감소와 평균적혈구용적(mean corpuscular volume)과 적혈구 분포 폭은 증가를 보고하였다. 하지만 Ziemann et al. (2012)은 12명의 테니스 선수를 대상으로 하루 2번 5일간 총 10회의 전신냉각요법을 처치하였을 때 적혈구와 헤모글로빈의 수준은 차이가 나타나지 않았고, Sutkowy et al. (2014)도 16명의 카약선수를 대상으로 하루 2번 10일간 총 20회의 전신냉각요법은 적혈구와 헤모글로빈의 수준을 변화시키지 않는다고 보고하였다.

이러한 결과들에 대해 Szygula et al. (2014)은 전신냉각요법의 횟수에 따라서도 혈액구성성분이 변화할 수 있다고 제시하였는데, 건강한 성인 남성 45명을 대상으로 하루 1번 전신냉각요법(3분,  $-130^{\circ}\text{C}$ )을 10, 20, 30회 실시한 후 비교한 결과 처치 전과 비교하여 10, 20회 후 적혈구, 적혈구용적률 및 헤모글로빈 수준의 감소가 나타났고, 백혈구의 수치는 증가가 나타났다. 하지만 30회 처치 후 적혈구, 적혈구용적률, 헤모글로빈 및 백혈구 수치는 처치 전 수준과 유사하게 나타났다. 이러한 결과는 전신냉각요법 10, 20, 30회 처치 후 처치 전 보다 각각 적혈구 형성인자(erythropoietin)의 4.5%, 10.8%, 10.1% 유의한 증가가 나타난 것으로 보아 처치 초기에는 일시적으로 용혈작용(hemolysis)이 나타나 적혈구 수준을 감소시켰을 것이라 제시하였다.

전신냉각요법과 혈액 구성성분의 변화는 성별에 의해서도

차이가 나타나는데, Ptaszek, Podsiadło, & Teległów (2023)은 30명의 건강한 성인 남녀를 대상으로 하루 1번 4주간 20번의 전신냉각요법(3분, -120°C)을 실시한 결과 여성 참가자는 적혈구, 헤모글로빈 및 적혈구용적률이 감소한 반면 남성 참가자는 차이가 나타나지 않았다. 또한 혈소판 수는 남성이 증가하고 여성은 차이가 나타나지 않았으며, 평균적혈구 헤모글로빈 농도(Mean corpuscular hemoglobin concentration)는 남성에서 유의한 증가를 나타냈다.

또한, 전신냉각요법은 질병유무에 따라서도 다르게 나타나는데 Ptaszek, Telegtow, & Marchewka(2017)은 류마티스 관절염 환자를 대상으로 10회 전신냉각요법은 적혈구와 적혈구용적률의 증가를 나타냈고, Ptaszek et al. (2021)은 다발성 경화증을 가진 환자를 대상으로 20회 전신냉각요법을 실시한 결과 혈액 구성에 변화가 나타나지 않았으며, Ptaszek. et al. (2023)은 건강한 성인 여성을 대상으로 20회 전신냉각요법은 백혈구의 증가를 보고하였다.

결과적으로 전신냉각요법에 따른 혈액구성의 변화는 신체 능력, 처치 횟수 및 질병유무에 따라 다르게 나타날 수 있다.

## V. 결론 및 제언

전신냉각요법은 최근 몇 년 동안 스포츠 분야에서 많이 활용되고 있으며, 선행 연구에 통해 전신냉각요법은 운동 후 회복에 효과적인 방법으로 제시하고 있다. 하지만 아직까지 대상자에 따른 전신냉각요법의 구체적인 프로토콜은 정해져 있지 않으며, 그 결과들도 상이하게 나타나고 있다. 또한 운동 전·후 전신냉각요법 처치가 운동수행능력을 향상시키는지에 대한 구체적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 참고문헌

Block, J. (2010). Cold and compression in the management of musculoskeletal injuries and orthopedic operative procedures: a narrative review. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 1:105.

Cheatham, S., Kolber, M., Cain, M., & Lee, M. (2015). The effects of self-myofascial release using a foam roll or roller massager on joint range of motion, muscle recovery, and performance: a systematic review. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 10, 827-838.

Cheung, K., Hume, P., & Maxwell, L. (2003). Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Medicine*, 33(2), 145-164.

Herrera, E., Sandoval, M. C., Camargo, D. M., & Salvini, T. F. (2010). Motor and sensory nerve conduction are affected differently by ice pack, ice massage, and cold water

immersion. *Physical Therapy*, 90(4), 581-591.

Knight K, L., Brucker J, B., Stoneman, P, D., Rubley, M, D., (2000). Muscle injury management with cryotherapy. *International journal of athletic therapy & training*, 5(4):26-30.

Krueger, M., Costello, J. T., Achtzehn, S., Dittmar, K. H., & Mester, J. (2019). Whole-body cryotherapy (-110 °C) following high-intensity intermittent exercise does not alter hormonal, inflammatory or muscle damage biomarkers in trained males. *Cytokine*, 113, 277-284.

Lombardi, G., Lanteri, P., Porcelli, S., Mauri, C., Colombini, A., Grasso, D., & Banfi, G. (2013). Hematological profile and martial status in rugby players during whole body cryostimulation. *PLOS ONE*, 8(2), e55803.

Lubkowska, A., Szygła, Z., Chlubek, D., & Banfi, G. (2011). The effect of prolonged whole-body cryostimulation treatment with different amounts of sessions on chosen pro- and anti-inflammatory cytokines levels in healthy men. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 71(5), 419-425.

Lubkowska, A., Szygła, Z., Klimek, A. J., & Torii, M. (2010). Do sessions of cryostimulation have influence on white blood cell count, level of IL6 and total oxidative and antioxidative status in healthy men? *European Journal of Applied Physiology*, 109(1), 67-72.

Machado, A. F., Almeida, A. C., Micheletti, J. K., Vanderlei, F. M., Tribst, M. F., Netto Junior, J., Pastre, C. M. (2017). Dosages of cold-water immersion post exercise on functional and clinical responses: a randomized controlled trial. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 1356-1363.

Mila-Kierzenkowska, C., Jurecka, A., Woźniak, A., Szpinda, M., Augustyńska, B., & Woźniak, B. (2013). The effect of submaximal exercise preceded by single whole-body cryotherapy on the markers of oxidative stress and inflammation in blood of volleyball players. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2013, 409567.

Miller, E., Markiewicz, Ł., Saluk, J., & Majsterek, I. (2012). Effect of short-term cryostimulation on antioxidative status and its clinical applications in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 112(5), 1645-1652.

Nosaka, K., Chapman, D., Newton, M., & Sacco, P. (2006). Is isometric strength loss immediately after eccentric exercise related to changes in indirect markers of muscle damage? *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 31(3), 313-319.

Podsiadło, S., & Teległów, A. (2023). Effect of whole-body cryotherapy treatments on blood morphology and blood

- rheology: red blood cell deformability, red blood cell aggregation in healthy subjects. *Clinical Hemorheology and Microcirculation*, 83(3), 279–286.
- Pournot, H., Bieuzen, F., Louis, J., Mounier, R., Fillard, J. R., Barbiche, E., & Hausswirth, C. (2011). Time–course of changes in inflammatory response after whole–body cryotherapy multi exposures following severe exercise. *PLOS ONE*, 6(7), e22748.
- Ptaszek, B., Podsiadło, S., & Teległów, A. (2023). Effect of whole–body cryotherapy treatments on blood morphology and blood rheology: red blood cell deformability, red blood cell aggregation in healthy subjects. *Clinical Hemorheology and Microcirculation*, 83(3), 279–286.
- Ptaszek, B., Teległów, A., Adamiak, J., Głodzik, J., Podsiadło, S., Mucha, D., & Mucha, D. (2021). Effect of Whole–Body Cryotherapy on Morphological, Rheological and Biochemical Indices of Blood in People with Multiple Sclerosis. *Journal of Clinical Medicine*, 10(13).
- Ptaszek, B., Telegtow, A., & Marchewka, J. (2017). Impact of systemic cryotherapy on the rheological properties of the blood in women with rheumatoid arthritis. *Medical Rehabilitation*, 21(2), 4–9.
- Qu, C., Wu, Z., Xu, M., Lorenzo, S., Dong, Y., Wang, Z., & Zhao, J. (2022). Cryotherapy on Subjective Sleep Quality, Muscle, and Inflammatory Response in Chinese Middle– and Long–Distance Runners After Muscle Damage. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(10), 2883–2890.
- Rivenburgh, D. W. (1992). Physical modalities in the treatment of tendon injuries. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 11(3):645–659.
- Rymaszewska, J., Lion, K.M., Stańczykiewicz, B., Rymaszewska, J.E., Trypka, E., Pawlik–Sobecka, L., Kokot, I., Płaczkowska, S., Zabłocka, A., & Szcześniak, D. (2021). The improvement of cognitive deficits after whole–body cryotherapy – A randomised controlled trial. *Experimental Gerontology*, 146, 111237.
- Serra, A. J., Pinto, J. R., Prokić, M. D., Arsa, G., & Vasconsuelo, A. (2020). Oxidative Stress in Muscle Diseases: Current and Future Therapy 2019. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2020, 6030417.
- Stanek, A., Romuk, E., Wielkoszyński, T., Bartuś, S., Cieślak, G., & Cholewka, A. (2019). Decreased Lipid Profile and Oxidative Stress in Healthy Subjects Who Underwent Whole–Body Cryotherapy in Closed Cryochamber with Subsequent Kinesiotherapy. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019, 7524878.
- Stanek, A., Wielkoszyński, T., Bartuś, S., & Cholewka, A. (2020). Whole–Body Cryostimulation Improves Inflammatory Endothelium Parameters and Decreases Oxidative Stress in Healthy Subjects. *Antioxidants (Basel)*, 9(12).
- Sutkowy, P., Augustyńska, B., Woźniak, A., & Rakowski, A. (2014). Physical exercise combined with whole–body cryotherapy in evaluating the level of lipid peroxidation products and other oxidant stress indicators in kayakers. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2014, 402631.
- Szygula, Z., Lubkowska, A., Gienza, C., Skrzek, A., Bryczkowska, I., & Dołęgowska, B. (2014). Hematological parameters, and hematopoietic growth factors: EPO and IL–3 in response to whole–body cryostimulation (WBC) in military academy students. *PLOS ONE*, 9(4), e93096.
- Tee, J.C., Bosch, A.N., & Lambert, M.I. (2007) Metabolic consequences of exercise–induced muscle damage. *Sports Medicine*, 37(10):827–836.
- Wojciak, G., Szymura, J., Szygula, Z., Gradek, J., & Wiecek, M. (2020). The Effect of Repeated Whole–Body Cryotherapy on Sirt1 and Sirt3 Concentrations and Oxidative Status in Older and Young Men Performing Different Levels of Physical Activity. *Antioxidants (Basel)*, 10(1).
- Wozniak, A., Wozniak, B., Drewa, G., Mila–Kierzenkowska, C., & Rakowski, A. (2007). The effect of whole–body cryostimulation on lysosomal enzyme activity in kayakers during training. *European Journal of Applied Physiology*, 100(2), 137–142.
- Zalewski, P., Klawe, J.J., Pawlak, J., Tafil–Klawe, M., & Newton, J. (2013). Thermal and hemodynamic response to whole–body cryostimulation in healthy subjects. *Cryobiology*, 66, 295–302.
- Ziemann, E., Olek, R. A., Grzywacz, T., Antosiewicz, J., Kujach, S., Łuszczuk, M., & Laskowski, R. (2013). Whole–body cryostimulation as an effective method of reducing low–grade inflammation in obese men. *The Journal of Physiological Sciences*, 63(5), 333–343.
- Ziemann, E., Olek, R. A., Grzywacz, T., Kaczor, J. J., Antosiewicz, J., Skrobot, W., & Laskowski, R. (2014). Whole–body cryostimulation as an effective way of reducing exercise–induced inflammation and blood cholesterol in young men. *European Cytokine Network*, 25(1), 14–23.