



오픈워터수영 시 수온변화에 따른 생리적 반응 및 보온복 착용 전략

박찬호 · 김용재[†]
(부경대학교)

Physiological Responses and Wetsuit Wearing Strategy according to Water Temperature Change during Open-Water Swimming

Chan-Ho PARK · Yong-Jae KIM[†]
(Pukyong National University)

Abstract

Open water swimming is becoming more and more popular events as well as a part of events such as triathlon. The stress of cold and warm water temperature can challenge the limits of human cardiovascular, temperature regulation and aerobic performance. This paper reviews current understanding in topics associated with open water swimming in cold and warm water. Strategies for wearing wetsuit in the different water temperature are presented for the coach, athletes, and organization of open water events to minimize the risk such as hypothermia, Hyperthermia, heat stroke and deaths. We described the physiological responses affected by the environment during open water swimming in cold and warm water.

On this basis we concluded that wearing wetsuit in warm water and environmental condition influence a dehydration and blood pressure by heat stress and thus aerobic performance. Guidelines are presented for the organisation of open water events to minimise risk, and it is concluded that more information on the responses to immersion in cold and warm water will help make this enjoyable sport even safer. Regarding the growing popularity of open water swimming further studies addressing the potential risks of such exhaustive exercise are required.

Key words : Core body temperature, Environment, Wetsuit, Open water swimming, Cold and warm water

I. 서론

실내 수영장이 아닌 바다 및 강과 호수 등의 야외에서 실시되는 수영을 오픈워터수영(open water swimming)이라고 하며, 오픈워터수영은 철인3종경기 첫 종목인 수영을 포함하고 있으며, 오픈워터수영 단일 종목의 경기는 5-25km의 거리를 포함하고 있다. 이 가운데 10km 마라톤 수영

은 베이징 올림픽 정식종목으로 채택되었으며 철인3종의 활성화 및 오픈워터 수영 참가자는 매년 25,000명 이상의 참가자가 참가할 정도로 성장하고 있다(Tipton & Bradford, 2014).

오픈워터수영 선수의 생리적인 특성은 장시간 동안 최대산소섭취량의 80-90%의 강도로 수영을 지속할 수 있는 능력과 에너지 소비량을 최소화시킬 수 있는 효율성이 제시되고 있으며, 오픈워

[†] Corresponding author : 051-629-5640, nhk2146@naver.com

터수영 경기 중 적절한 에너지 공급 및 체온조절이 경기력에 중요한 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Baldassarre · Bonifazi · Zamparo & Piacentini, 2017).

수영을 규칙적으로 실시할 경우 면역기능을 향상시키고 심혈관질환 예방에 긍정적인 효과가 있어 오픈워터수영의 대중화 및 활성화는 국민 건강증진에 긍정적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료된다. 하지만 오픈워터수영 경기에 참가하는 선수들은 수온, 조류, 해류 및 파도 등의 환경적인 요인에 영향을 받으며, 특히 수온변화에 따라 인체의 생리적인 반응에 의한 운동수행력 감소와 의학적 위험요인을 유발시켜 생명을 위협하는 현상들이 나타날 수 있다(Baldassarre · Bonifazi · Zamparo & Piacentini, 2017).

10-15℃의 저수온(cold water)에서 실시되는 오픈워터수영은 심장 기능장애와 저체온증을 초래시킬 수 있으며, 고수온(warm water)은 고체온증과 심혈관 기능의 이상을 초래시킬 수 있다(Tipton & Bradford, 2014). 또한 철인3종경기 참가자의 사망 위험율은 10만명 당 1.5명이며(Harris · Henry · Rohman · Haas & Maron, 2010), 마라톤의 경우 10만명당 0.8명(Redelmeier, & Greenwald, 2007)으로 보고되고 있으며, 철인3종경기 중 사망률의 대부분은 오픈워터수영 중에 나타난다는 것이 특이적인 요인이다(Harris, et al., 2010; Moon · Martina · Peacher & Kraus, 2016).

해외 사례에 의하면 2003년부터 2011년까지 43명의 사망자 가운데 30명이 오픈워터수영 경기 중 사망하였다(USAT, 2013). 오픈워터수영 중 사망 원인으로 심장 기능 이상(cardiac abnormalities) (Kenny, et al., 2016)과 저체온증 및 고체온증 그리고 수영유발성 폐부종(swimming-induced pulmonary edema: SIPE) 증상 등이 보고되어 예방적인 노력이 시급한 실정이다(Asplund & Creswell, 2016; Miller · Calder-Becker, & Modave, 2010).

현재 다양한 거리의 오픈워터수영대회가 개최되고 있으며, 오픈워터수영 경기에 참가하는 선

수들은 환경적인 요인에 의하여 발생하는 생리적인 스트레스로 저체온증(hypothermia)과 고체온증(Hyperthermia) 및 열사병(heat stroke) 등에 노출될 수 있다(Macaluso, et al., 2013; Tipton, & Bradford, 2014). 이 가운데 오픈워터수영대회 참가자들에게 가장 빈번하게 건강을 위협하는 요인으로 저체온증으로 보고되고 있지만((Macaluso, et al., 2013) 오픈워터수영 중 사망에 대한 직접적인 원인이 되는 기전은 명확하게 밝혀지지 않았다.

기온 및 수온과 같은 환경적 열 스트레스는 인체의 체온조절, 체수분 균형, 그리고 유산소 운동수행능력에 부정적인 영향을 미칠 수 있으며(Cheuvront · Kenefick · Montain & Sawka, 2010), 외부 환경 온도가 32℃ 이상 일 경우 신체에 자극하는 열 스트레스가 고체온증(hyperthermia)을 유발시켜 선수들의 건강에 부정적인 영향을 미칠 수 있어 오픈워터수영 시 수온변화 및 수분섭취의 어려움 등으로 울트라 달리기 선수와 사이클 선수들 보다 더 많은 열 스트레스를 유발시킬 수 있다(Drygas · Rębowska · Stępień · Golański & Kwaśniewska, 2014).

운동유발성 열사병의 경우 비교적 건강한 젊은 성인에게 고온 다습한 기후 조건에서 실시되는 과도한 운동이 원인이 되어 발병하게 된다. 최근 국내에서도 오픈워터수영대회 참가자들의 사망사고 소식이 전해지고 있으며, 2016년 한 해 동안 3명의 동호인 사망자가 발생되었다. 오픈워터수영대회가 무더운 여름철에 개최될 경우 고온 환경과 수온이 온열질환과 관련된 사망률을 증가시킬 수 있을 것으로 예측된다. 문방구

특히 저수온에서 수영할 경우 체온보호를 위해 착용하는 보온복(wetsuit)의 경우 스포츠 현장에서는 동호인 참가자들의 안전을 위해 외부환경의 온도에 상관없이 착용하고 있어 고온환경에서 보온복을 착용하고 오픈워터수영 대회에 참가할 경우 위험성은 증가할 것으로 사료된다. 왜냐하면 고온환경과 고수온에서 체온보호를 위해 착용하는 보온복의 사용은 오히려 체온조절에 부정적인 영향을 미쳐 온열질환 발생(Sawka et al., 2001)과

혈압을 상승시켜 생리적 반응에 부정적인 영향을 미칠 수 있기 때문이다(Prado · Dufek · Navalta · Lough & Mercer, 2017).

이러한 의학적 위험요인의 예방을 위해 수온변화에 따른 보온복 착용의 전략과 오픈워터수영 시 보온복 착용에 따른 위험요인을 감소시킬 수 있는 중재적인 전략에 관한 정보가 필요한 실정이다. 하지만 오픈워터수영 시 수온변화에 따른 이와 관련된 정보들이 부족한 실정이며 이와 관련된 연구의 필요성이 제기된다.

따라서 본 총설은 MEDLINE(Pubmed)과 Google scholar 및 cross-reference를 통해 문헌조사 연구방법을 실시하여 오픈워터수영 중 수온변화에 따라 발생할 수 있는 생리적인 반응과 건강을 위협하는 의학적 위험요인을 분석하여 보온복 착용여부에 따라 발생할 수 있는 위험요인을 최소화시킬 수 있는 보온복 착용 전략을 제시하는데 목적이 있다. 본 총설의 결과로 오픈워터수영 대회에 참여하는 운영 주최자 및 동호인들에게 환경온도 및 수온변화에 따른 적절한 보온복 착용 방법을 제시하고 향후 지속적인 연구를 위한 기초자료를 제공하는데 있다.

II. 본 론

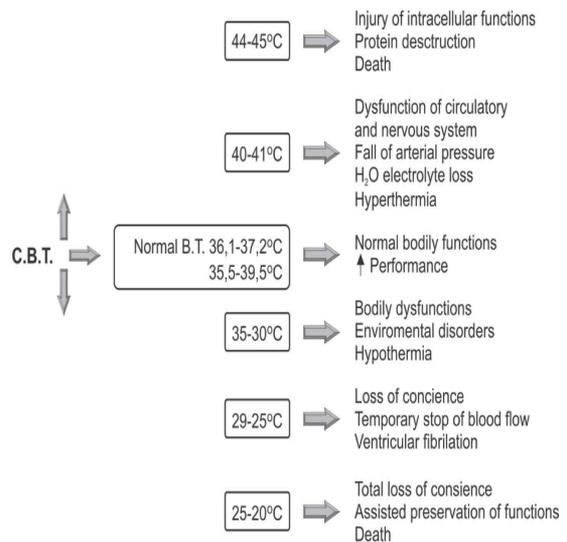
1. 수온변화에 따른 생리적 반응

수영 경기와 훈련을 위한 적절한 수온은 일반적으로 26℃로 제시되고 있으며, 수영 경기력을 최대화시킬 수 있는 수온은 25~29℃의 범위로 제시되고 있다. 이러한 범위의 수온 가운데 장거리 종목 선수의 운동수행력 향상을 위한 적절한 수온은 25~27℃ 이며, 단거리 종목 선수에게 적합한 수온은 27~29℃의 범위로 제시되고 있다 (Holmer & Bergh, 1976; Sloan, & Keatinge, 1973).

25℃ 이하의 수온에서 수영을 실시할 경우 같은 온도로 육상에서 운동을 실시할 경우 보다 산소소비량은 더 빠르게 증가하는 것으로 보고되고

있으며, 30℃ 이상의 수온에서 수영을 실시할 경우 대사율과 심박수는 육상에서 실시하는 운동과 같은 형태로 나타나는 것으로 보고되고 있다 (McArdle · Magel · Lesmes, & Pechar, 1976).

일반적으로 오픈워터수영을 낮은 수온에서 실시할 경우 심부온도를 정상적으로 유지하기 위해 신경계, 내분비계 그리고 근육계에서 다양한 생리적인 반응이 나타난다. 20℃ 이하의 낮은 수온은 피부의 냉각수용체(cold receptores)를 자극하여 대사율 증가 및 심부온도(body core temperature)의 감소 현상이 나타나며, 21℃ 이상의 높은 수온에서 수영을 실시할 경우 심부 온도가 38℃ 이상으로 상승하는 현상이 나타난다(Holmer & Bergh, 1976).



C.T.B. : Core Body Temperature,
Normal B.T. : Normal Body Temperature

[Fig. 1] Core body temperature. different temperatures and functions. (Alexiou, S, 2014)

[Fig. 1]은 Alexiou(2014)의 심부온도 변화에 따른 신체적 기능의 범위를 나타내고 있으며, 수영 시 관찰된 심부온도의 범위는 35.5~39.5 ℃로 제시하고 있다.

수온이 16~20℃로 낮아지면 혈관 수축, 산소소비의 감소, 말초 및 심부 온도 감소와 같은 생리적인 반응과 저체온증이 유발되며 운동수행력이 급격하게 감소되는 현상이 나타나며(Holmer & Bergh, 1976), 10km 이상의 거리를 장시간 동안 실시하는 마라톤 수영은 선수들에게 저체온증을 유발시킬 수 있는 것으로 보고되고 있다(Castro · Mendes & Nobrega, 2009).

수온이 16℃ 이하로 낮아지면 심박수 및 산소소비량의 감소, 심부온도의 급격한 감소와 같은 생리적인 반응이 나타나며 근육 온도는 점진적으로 감소하는 현상이 나타나 수영을 제대로 수행하기 어려워진다(Stergioulas, 2013).

높은 수온은 열수용체(heat receptors)를 자극하여 신체의 혈관 확장 및 고체온증을 초래한다(McMurray & Horvath, 1979). 그리고 30~34℃의 수온에서 수영을 실시할 경우 혈관 확장, 혈액흐름의 증가, 말초 및 심부온도의 상승과 같은 생리적인 반응이 나타나며 운동수행력이 급격히 감소되는 현상이 나타난다. 하지만 이러한 수온은 영유아 및 어린이 그리고 노인들의 운동 활동에 적합한 수온의 범위로 제시되고 있다(Wells & Paolone, 1977).

수온이 20~25℃로 낮아지면 혈관 수축(vasoconstriction), 산소소비의 증가와 심부온도의 감소와 같은 생리적 반응이 나타나고 운동수행력이 저하되는 현상이 나타나지만 이러한 수온의 범위는 장시간 동안 수영을 실시해야하는 지구성 수영선수들에게는 운동유발성 체온 상승에 의한 고체온증이 유발되지 않는 적절한 수온으로 제시되고 있다(Sloan, & Keatinge, 1973).

2. 저체온 스트레스와 생리적 반응

낮은 수온에서 오픈워터수영 시 나타나는 반사성 빈맥(reflexive tachycardia)은 동맥 혈압과 심박출량 및 심장 기능에 부작용을 초래하여 서맥(bradycardia) 현상을 유발 시킨다. 이러한 서맥

현상은 부정맥을 초래하여 심장 기능을 저하시켜 관상동맥 혈류의 감소로 인한 급사(sudden death)가 발생할 수 있다(Tipton, 2013).

개인적인 체온은 다양하지만 건강한 사람은 36.8℃~37℃의 범위로 심부온도를 일정하게 유지하는 것으로 보고되고 있다(Sund-Levander, Forsberg & Wahren, 2002.).

저체온증은 체온이 35℃ 이하로 정의하고 있으며(Brannigan, et al., 2009), 32℃~35℃의 범위는 경도 저체온증, 28℃~32℃의 범위는 중도 저체온증, 20℃~28℃의 범위는 고도 저체온증, 20℃ 이하의 초고도 저체온증으로 구분하여 정의하고 있다(Marx, 2006). 경도 및 중도 저체온증은 불규칙적인 심장 박동과 근육의 경직 현상 등과 같은 생리적인 반응이 나타나며, 초고도 저체온증은 혼수상태와 혈압 상승 그리고 생명을 위협하는 부정맥 현상을 유발 시킬 수 있다(Tipton, 2013).

앞서 언급한바와 같이 저체온 스트레스와 관련된 생리적 반응과 의학적 위험요인은 운동생리학 분야에서 중요하게 다루어지는 주제이며, 오픈워터수영대회에 참가한 선수들에게 나타날 수 있는 저체온증은 건강을 위협하는 중요한 의학적 위험요인으로 다루어지고 있다. 저체온의 스트레스로 인체에 나타나는 생리적 반응은 과호흡(hyperventilation) 및 빈맥(tachycardia) 현상과 스트레스 호르몬 분비를 촉진시키는 현상으로 나타난다(Tipton & Bradford, 2014).

일반적으로 우심장으로 귀환하는 정맥혈이 감소하여 심장 충만(cardiac filling)이 부적당하면 동맥 혈압이 하강하기 시작하여 반사성 빈맥과 혈압 하강을 제한시키는 말초혈관 수축현상이 일어난다. 말초혈관 수축은 심장에 부하를 줄 수 있으며, 심장이 제대로 수축하지 못해 혈액을 전신으로 보내지 못하는 심실세동(ventricular fibrillation) 현상을 유발 시킬 수 있다(Tipton, 2013).

심실세동 다음으로 저체온 스트레스에 영향을 받는 조직은 표면의 신경과 근육이며 특히 상지

표면의 신경과 근육에 더 많은 영향을 받는다 (Wallingford · Ducharme & Pommier, 2000). 표면 근육의 온도가 27°C 이하로 감소되면 효소 활성의 감소, 아세틸콜린과 칼슘 방출의 감소, 근육 관류의 감소, 혈액 점성의 증가 등의 요인들 때문에 근수축력의 기능도 감소된다(Vincent & Tipton, 1988). 감소된 근수축력은 길항근의 활성도를 높여 역학적 효율성을 더 감소시킬 수 있다 (Hong & Nadel, 1979).

혈액점성이 높아지면 혈관의 마찰 작용으로 혈액의 흐름을 제한시켜 혈압을 상승시키고 더 많은 산소를 소비하게 된다. 또한 냉각된 근육은 무산소성 에너지 대사를 촉발시켜 젖산의 축적과 글리코겐의 고갈 상태를 촉진시켜 피로를 유발시킨다(Martineau & Jacobs, 1988). 이러한 생리적 반응들은 운동수행력 감소 및 건강을 위협하는 결과를 초래할 수 있다.

10°C의 수온에서 15km의 울트라 지구성 수영을 6시간 동안 실시한 선수의 심부온도의 변화에서 수영 전 37.8°C의 심부온도가 20분간의 수영 후 38.1°C로 심부온도가 최대치로 상승하였다가 수영이 끝나는 시점에는 36.3°C로 감소하는 현상이 나타났지만 저체온증은 나타나지 않았다(Rüst Knechtle & Rosemann, 2012). 다른 선행연구에서는 21°C의 비교적 따뜻한 수온에서 10km 마라톤 수영을 완주한 선수들에게 경도 저체온증(34~35°C)과 중도 저체온증(30~34°C) 현상이 나타났다(Castro · Mendes & Nobrega, 2009).

이러한 서로 다른 주장은 선수들의 체지방율과 관련이 있는 것으로 사료된다. 지방은 인체의 단열 및 보온 역할을 담당하며, 체지방이 부족하면 체내의 열이 외부로 쉽게 빠져나가기 때문에 오픈워터수영 대회에 참가하는 선수들에게 체지방율은 체온보호를 위해 중요한 요인이 될 수 있다. 실질적으로 체지방율이 높은 선수는 저체온증 발생의 위험이 더 낮으며, 낮은 수온에서 장시간 동안 수영 시 체온조절 능력이 더 크다고 보고되었다(Knechtle · Rosemann & Rüst, 2015).

또한 체지방율은 산소소비량에도 영향을 미칠 수 있다. 33°C의 수온에서 운동 시 보다 25°C와 18°C에서 평균 산소소비량은 각각 9%와 25.3%가 증가하여 체지방율이 낮은 선수들이 산소소비를 더 많이 하는 것으로 나타났다(McArdle · Magel · Lesmes & Pechar, 1976). 따라서 저수온에서 장시간 실시되는 오픈워터수영 시 체지방은 체온 보호에 효과적이며, 대사적 효율성 측면에서도 긍정적인 영향을 미칠 수 있다. 하지만 운동수행력 향상에 대한 긍정적인 효과는 명확하게 밝혀져 있지 않다.

15~16°C의 수온에서 오픈워터수영을 6시간 동안 실시한 결과 수영 실시 전 참가자의 평균 심부온도는 37.29°C에서 수영 실시 후 평균 36.02°C로 감소하여 수영 전과 후를 비교하면 평균 -0.42°C로 유의하게 감소하였지만 저체온증의 수준은 아니었다(Brannigan, et al., 2009). 하지만 6시간 가운데 수영 시작점에서 3시간 구간까지의 심부온도 보다 후반 3시간 동안 심부온도의 감소가 더 높은 것으로 나타나 수영시간이 길어짐에 따라 저체온증의 발생 위험은 증가될 수 있음을 시사하고 있다.

따라서 국제수영연맹(FINA)에서는 오픈워터 수영 참가자들의 저체온증을 예방하기 위해 최저수온을 16°C로 제한하고 있으며(FINA handbook, 2005), 국제트라이애슬론연맹(ITU)에서는 16°C 이하일 경우 의무적으로 보온복(wet suit)을 착용하도록 규정하고 있지만 위에서 언급된 바와 같이 다소 따뜻한 수온에서 오픈워터수영을 실시할지라도 심부온도의 감소 현상은 나타날 수 있기 때문에 대회 참가자 및 대회 운영 관계자들은 저체온증의 위험에 대한 인식이 필요하며, 적절한 안전 예방책을 참가자들에게 권고해야 할 것으로 사료된다.

또한 장거리 오픈워터수영 및 철인3종경기에 참가자가 증가하면서 수영유발성 폐부종 증상을 보인 선수가 보고되고 있으며, 원인으로는 저수온에 장시간 노출되면서 체온의 저하 및 고혈압

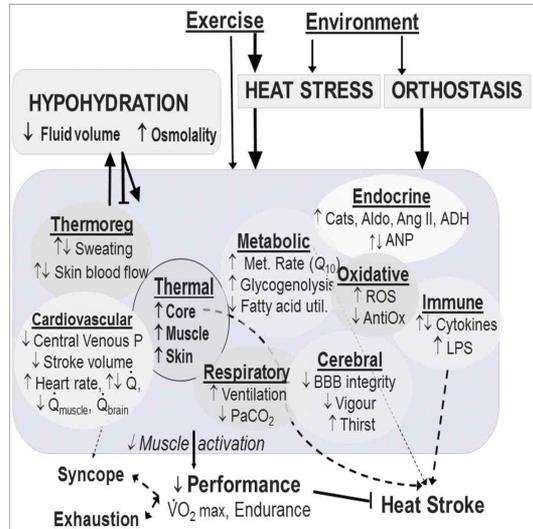
의 병력과 같은 요인들과 관련이 있는 것으로 보고되고 있다(Miller · Calder-Becker & Modave, 2010). 수영유발성 폐부종은 폐 모세 혈관에서 공기가 있는 폐포로 비정상적으로 혈액이 축적 될 때 발생되며 장시간 물속에서 수영을 할 경우에 발생하는 수영유발성 폐부종은 호흡곤란과 심장 압박과 같은 증상이 나타나며 호흡곤란에 의한 저산소증으로 조직의 허혈 상태를 유발시켜 사망의 원인이 될 수 있다.

3. 고체온 스트레스와 생리적 반응

환경적인 열 스트레스가 유산소성 운동수행능력에 부정적인 영향을 미친다는 사실은 잘 알려져 있다(Galloway & Maughan, 1997.). [Fig. 2]는 Akerman · Tipton · Minson & Cotter(2016) 등이 제시하고 있는 고온 환경에서 운동을 실시할 경우 열 스트레스와 탈수에 의한 심혈관계, 내분비계 그리고 면역계에서 다양한 생리적인 반응이 나타나 운동수행력 감소 및 열질환을 유발시키는 기전을 나타내고 있다.

고수온에서 오픈워터수영 시 나타나는 열 스트레스는 심혈관계의 적응현상과 체온조절 시스템에 의하여 조절된다. 하지만 고수온에서 장시간 수영을 실시할 경우 수분 손실량의 증가와 혈장량의 감소를 유발시켜 심장의 1회 박출량이 감소하는 현상이 나타나 심박수를 증가시키는 원인이 된다.

운동에 의한 열 스트레스(exercise-heat stress)로 나타나는 생리적 반응으로 에너지 대사, 체온조절, 중추신경계 기능의 정상화를 위해 혈액 순환이 증가한다. 심부온도와 피부온도가 상승하면 체온조절을 위한 생리적인 반응으로 심박수가 증가되고 심장 충만과 1회박출량을 감소시켜 심혈관 스트레스를 상승시키는 요인이 될 수 있다 (Bregelmann · Johnson · Hermansen & Rowell, 1977).



ADH: Anti-diuretic hormone; Aldo: Aldosterone; ANP: Atrial Natriuretic Peptide; BBB: Blood brain barrier; Cats: Catecholamines; LPS: Lipopolysaccharide; ROS: Reactive Oxygen Species.

[Fig. 2]. Heat stress and sweating-induced hypohydration can each cause widespread acute effects, many of which are synergistic. Hypohydration is usually caused by heat stress, but can then oppose heat-induced increases in skin blood flow and sweating to further exacerbate heat strain. (Akerman, Tipton, Minson, & Cotter, 2016)

생리적 체온조절 기능의 장애로 인한 심부온도가 38℃이상으로 상승하면 고체온증으로 정의된다. 체온조절과 감각기능은 인간의 생존에 매우 중요한 생리적 기전이며 정상체온에서 3~5℃의 체온 변화는 인체에 치명적인 손상을 유발시킬 수 있다(Moran & Mendal, 2002). 따라서 고온 환경에 노출되면 말초부위로 혈액을 공급하여 열발산을 증가시켜 체온을 유지하지만 운동 시 혈액은 수축하는 근육으로 공급되기 때문에 고수온에서 오픈워터수영을 실시할 경우 심혈관계에 많

은 스트레스를 유발시킬 수 있다.

이러한 결과는 일정한 강도로 장시간 오픈워터 수영을 실시할 경우에 운동지속시간에 따라 1회 박출량은 점차 감소하고 심박수는 증가한다. 이러한 현상을 심혈관계 표류(Cardiovascular Drift)라고 하며, 일반적으로 체온 상승과 관련이 있는 것으로 보고되고 있다(Wingo · Ganio & Cureton, 2012). 체온을 조절하기 위해서 더 많은 혈액이 피부로 이동됨에 따라 심장으로 돌아오는 혈액량은 줄어들고, 체액의 손실로 혈장량과 혈액량이 감소한다. 특히 오픈워터수영 시 수분 섭취가 원활하지 않을 경우 열 스트레스에 대한 부하는 증가하여 체력이 급격하게 감소되는 현상이 나타나며(Galloway & Magughn, 1997), 심부온도를 상승시켜 고체온증과 관련된 피로를 유발시키며(Rüst · Knechtle, & Rosemann, 2012), 근글리코겐의 이용률 증가와 체수분의 감소 그리고 체온조절 기전의 약화로 체온을 상승시킬 수 있다(Hargreaves et al., 1995).

이처럼 고수온에서 장시간의 오픈워터수영은 탈수를 유발할 수 있으며 심혈관계 표류 현상은 탈수현상에 의하여 증가되고 수분을 재 보충하게 되면 감소된다(Rizzo & Thompson, 2017). 그리고 심부온도의 상승으로 빈맥, 부정맥, 저혈압 및 심박수 감소 등의 증상이 나타날 수 있다.

따라서 오픈워터수영 중 수분섭취가 어렵기 때문에 고온 환경에서 훈련 또는 경기 중 탈수 예방을 위한 수분섭취의 중요성을 참가자들 및 대회주최측은 인식하는 것이 필요하다. 또한 심부온도의 상승은 교감신경의 활성화로 나타날 수 있는 빈맥에 의한 심장 충만을 감소시킬 수 있고, 심박수의 증가와 관련이 있다(Coyle & González-Alonso, 2001).

체온 상승에 의한 피로와 페이스 감소는 심혈관계 스트레스에 의하여 나타날 수 있기 때문에 고수온에서 오픈워터수영을 실시할 경우 각별한 주의가 필요하다. 이처럼 고체온증에 의해 발생하는 생리적인 반응들은 오픈워터수영 대회에 참

가하는 참가자들의 건강을 위협할 수 있다.

선행연구에서 오픈워터수영 중 열사병(heat stroke)의 위험을 예방하기 위해서는 수온이 33°C 이상의 온도에서는 대회를 진행하는 것이 부적절하다고 보고하였다(Macaluso, et al., 2013). 특히 노인들의 건강을 위협하는 것으로 보고되고 있으며(Diversi · Franks-Kardum, & Climstein, 2016), 평균 기온이 1°C 증가하면 사망률은 2~5% 증가하는 것으로 보고되고 있다(Yu, et al., 2012). 고온 환경에 3시간 동안 노출될 경우 임상적으로 관찰될 수 있는 심혈관 증상 및 체온의 변화는 없었지만 젊은 집단보다는 노인 집단에서 열 스트레스를 더 많이 받게 되고 상지관류(limb perfusion)는 감소되는 현상을 보고하였다(Kenny et al., 2016).

따라서 오픈워터수영 대회에 참가하는 노인 집단에서 운동 중에 발생될 수 있는 열 스트레스와 관련된 사망률의 위험은 증가될 수 있음을 시사하고 있다.

Ⅲ. 저온환경과 보온복 착용 전략

오픈워터수영 시 저체온증으로 발생될 수 있는 서맥현상에 의한 심장기능 저하, 근육의 경직 현상, 혼수상태와 혈압상승 등의 위험요인을 예방하기 위해 보온복을 착용하게 된다.

몇몇 연구에서 10°C의 수온에서 6시간 동안 수영을 실시한 선수의 심부온도의 변화는 36.3°C로 감소하는 현상이 나타났지만 저체온증은 나타나지 않았다고 보고되고 있으며(Rüst · Knechtle & Rosemann, 2012), 15~16°C의 수온에서 6시간 동안 수영을 실시한 결과 심부온도는 평균 -0.42 °C로 유의하게 감소하였지만 저체온증의 수준은 아니었다(Brannigan, et al., 2009).

하지만 21°C의 비교적 따뜻한 수온에서 10km 마라톤 수영을 완주한 선수들에게 경도 저체온증(34~35°C)과 중도 저체온증(30~34°C) 현상이 나타

나는 것으로 보고되고 있다(Castro · Mendes & Nobrega, 2009).

이러한 서로 다른 연구 결과는 체지방율과 관련이 있다. 지방은 인체의 단열 및 보온 역할을 담당하며, 체지방율은 체온보호를 위해 중요한 요인이 될 수 있다. 국제수영연맹에서는 오픈워터 수영 참가자들의 저체온증을 예방하기 위해 최저 수온을 16°C로 제한하고 있으며(FINA handbook, 2005), 국제트라이애슬론연맹에서는 16°C 이하일 경우 의무적으로 보온복(wet suit)을 착용하도록 규정하고 있지만 체지방율에 따라 보온복 착용의 전략은 달라질 수 있으며, 체지방율이 낮은 선수의 경우 21°C의 비교적 따뜻한 수온에서도 보온복 착용이 필요하며 향후 체지방율 차이에 따라 보온복착용의 구체적인 가이드라인에 대한 연구의 필요성이 제기된다.

IV. 고온환경과 보온복 착용 전략

오픈워터수영 시 저체온증의 예방으로 참가자들의 안전을 보호하기 위해 개발된 보온복은 오픈워터수영의 활성화에 기여해 왔으며, 현재 다양한 형태의 보온복이 출시되고 있다.

저체온 스트레스는 인체의 적응력을 감소시켜 향상성 유지에 장애를 초래할 수 있어(McArdle et al., 2001), 오픈워터수영 시 체온보호를 위해 보온복 착용은 향상성 유지에 긍정적인 영향을 미칠 수 있으며, 부력의 효과로 수영 효율성(swimming efficiency)을 향상시켜 운동수행력에도 긍정적인 영향을 미친다(Parsons & Day 1986).

이러한 효과 때문에 일반적으로 오픈워터수영에 참여하는 엘리트 선수들은 수온변화에 따라 보온복을 착용할 수도 있고 착용 금지될 수 있는 경기규칙이 있지만 동호인의 경우에는 수온과 상관없이 안전을 목적으로 의무적으로 착용하는 경우가 대부분이다. 하지만 이러한 보온복 착용이 모든 조건에서 안전하다고 볼 수는 없다.

고온 환경에서 수영 시 열 스트레스가 의복과 같은 외적인 조건에 의하여 더 심해지면 체온조절에 부정적인 영향을 미쳐 열탈진과 같은 온열질환이 발생할 수 있으며(Sawka et al., 2001), 보온복 착용은 혈압을 상승시켜 생리적 반응에 영향을 미친다(Prado · Dufek · Navalta · Lough & Mercer, 2017).

일반적으로 무더운 여름철에 저수지와 같은 장소에서 실시되는 오픈워터수영 대회의 경우 기온과 수온이 30°C 이상인 경우가 있다. 하지만 오픈워터수영에 참가하는 동호인의 경우 체온유지와 안전을 목적으로 착용하게 되는 보온복은 30°C 이상의 고온 환경과 고수온에서 착용할 경우 열 스트레스를 더욱 촉진시켜 온열질환을 유발시킬 수 있고 말초 혈관의 압박을 통해 심장에 부하를 더욱 가중시킬 수 있음을 시사하고 있다.

고체온증을 예방하기 위한 전략으로는 열 스트레스에 대한 적응을 강화시키기 위한 열순응 적응 훈련이 필요하다. 운동유발성 열 순응(Exercise heat acclimation)은 고온 환경에서 체온조절 향상, 생리적 스트레스 감소, 온열질환의 위험성 감소, 유산소성 운동수행력 향상 등과 같은 생리적 적응 현상으로 나타난다(Périard · Travers · Racinais & Sawka, 2016).

32°C와 20°C의 수중과 육상에서 열 순응 훈련은 비슷한 생리적 적응 현상이 나타난다고 보고하였다(Avellini, et al., 1982). 따라서 고온 환경에서 실시되는 오픈워터수영 대회에 참가할 계획이 있다면 열순응 훈련을 통하여 생리적 적응력을 강화시키는 것이 필요하다. 이러한 열순응 적응 훈련은 고온환경에서 착용하는 보온복에 의하여 발생할 수 있는 고체온증을 예방하는데 효과적인 전략이 될 수 있다.

최근에는 스포츠현장에서 선수들의 운동유발성 고체온증 예방을 위해 냉침수법(cold water immersion) 및 다양한 냉각요법이 효과적인 중재 방법으로 제시되고 있다(Park & Kwak, 2017;

Zhang · Davis · Casa & Bishop, 2015).

고온 환경 및 고수온의 환경에서 보온복을 착용하고 오픈워터수영 대회에 참가할 경우 출발 시간을 기다리는 선수들에게 보온복은 열 스트레스 촉진과 탈수를 유발시킬 수 있으며 특히, 출발 시간이 오전보다 오후 시간대에 더욱 심각한 스트레스를 촉진할 수 있다.

따라서 대회 주회자는 환경과 수온변화를 고려하여 수영 출발 전 선수들이 고체온증을 예방할 수 있는 냉침수법 및 냉각요법을 이용할 수 있는 환경을 마련하는 것이 참가자들이 고온환경에서 착용하는 보온복으로 인한 위험요인들을 사전에 예방할 수 있는 중요한 전략이라고 사료된다.

냉수섭취의 증재적인 방법 또한 심부온도를 감소시켜 고체온증 예방에 긍정적인 효과가 있는 것으로 제시되고 있다. 10km의 오픈워터수영 중 2km 구간마다 그리고 5km의 오픈워터수영 중 1km 구간마다 냉수섭취가 심부온도를 감소시키는데 긍정적인 효과가 있는 것으로 보고되고 있다(Hue · Monjo & Riera, 2015). 특히, 고온환경에서 보온복 착용으로 인한 고체온증이 발생할 가능성이 높은 관계로 고온환경에서 보온복을 착용하고 대회에 참가할 경우 적절한 냉수섭취는 오픈워터수영 중 심부온도를 감소시켜 보온복 착용으로 발생할 수 있는 고체온증을 예방할 수 있다.

최근의 연구에서 잘 맞지 않는 보온복 착용은 동맥혈압을 상승시켜 생리적 반응에 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Prado, et al., 2017). 일반적으로 오픈워터수영 대회에 참가하는 참가자들은 보온복의 가격이 다소 비싼 이유로 체중증가에 따른 사이즈 변화 및 사이즈 잘못 선택, 타인에게 빌리는 경우 등 다양한 이유로 자신의 체형에 적합하지 않은 보온복을 착용하고 있는 경우를 관찰할 수 있다. 하지만 체형에 적합하지 않은 보온복 착용의 위험성에 대해 잘 인식하지 못하는 경우가 많다.

고혈압의 병력이 수영유발성 폐부종의 원인으

로 제시되고(Miller, Calder-Becker, & Modave, 2010) 있으므로 오픈워터수영 대회에 참가하는 참가자들은 자신의 체형에 적합한 보온복 선택은 의학적 위험요인을 예방하는 중요한 전략이 될 수 있다. 보온복의 경우 자신의 신체에 잘 맞고 제품의 질이 부드럽고 탄력적인 제품 선택이 중요하다. 자신에게 잘 맞지 않는 작은 사이즈의 보온복은 혈압과 같은 생리적인 반응에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있어(Prado · Dufek · Navalta · Lough & Mercer, 2017) 체중 변화가 있을 경우 교체하는 것을 고려해야 한다. 특히, 고혈압이 있는 동호인 선수들은 보온복 선택 및 사용에 신중해야 할 것이다.

V. 결론

오픈워터수영 시 수온변화에 따른 생리적인 반응은 다양하게 나타날 수 있으며, 저체온증의 예방을 위해 체지방은 에너지대사의 효율적인 측면에서 긍정적인 역할을 할 수 있다. 그러나 체지방율이 낮은 선수의 경우 보온복 착용이 효율성 향상과 안전을 위해 중요한 전략이 될 수 있지만 구체적인 가이드라인이 없어 향후 이와 관련된 연구가 필요한 것으로 사료된다.

고체온증의 위험성은 보온복 착용에 의하여 발생될 수 있으며, 엘리트 선수의 경우 일정한 수온 이상에서 보온복 착용이 금지되어 있지만 동호인의 경우 이러한 규정이 명확하지 않아 고온 환경과 고수온에서도 보온복을 착용하는 경우가 있어 오픈워터수영 중 여러 가지 위험요인과 운동수행력의 감소 등이 유발될 수 있다.

따라서 장거리 운동수행력 향상을 위한 적절한 수온은 25~27℃로 보고되고 있어 그 이상의 수온에서 보온복 착용은 고려되어야 할 것으로 사료된다.

30℃ 이상의 수온에서 보온복을 착용할 경우 심부온도 상승을 예방하기 위해 냉각요법 및 냉

수업취와 같은 증재적인 방법이 필요하며 이에 관한 구체적인 가이드라인이 마련되어 있지 않아 추후 연구를 통해 구체적인 방안을 제시하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

- Akerman, A. P. · Tipton, M. · Minson, C. T. · Cotter, J. D.(2016). Heat stress and dehydration in adapting for performance: Good, bad, both, or neither? *Temperature (Austin)*. 3(3), 412~436.
- Alexiou, S.(2014). The effect of water temperature on the human body and the swimming effort. *Biology of exercise*, 10(2), D.O.I: <http://doi.org/10.4127/jbe.2014.0075>
- Asplund, C. A. & Creswell, L. L.(2016). Hypothesised mechanisms of swimming-related death: a systematic review. *Br J Sports Med*. 50(22), 1360~1366.
- Avellini, B. A. · Shapiro, Y. · Fortney, S. M. · Wenger, C. B. & Pandolf, K. B.(1982). Effects on heat tolerance of physical training in water and on land. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 53(5), 1291~1298.
- Baldassarre, R. · Bonifazi, M. · Zamparo, P. & Piacentini, M. F.(2017). Characteristics and Challenges of Open-Water Swimming Performance: A Review. *Int J Sports Physiol Perform*. 1, 1~35.
- Bradford, C. D. · Lucas, S. J. · Gerrard, D. F. & Cotter, J. D.(2015). Swimming in warm water is ineffective in heat acclimation and is non-ergogenic for swimmers. *Scand J Med Sci Sports. Suppl 1*, 277~286.
- Brannigan, D. · Rogers, L. R. · Jacobs, L. · Montgomery, A. · Williams, A. & Khangure, N.(2009). Hypothermia is a significant medical risk of mass participation long-distance open water swimming. *Wilderness Environ Med.*, 20, 14~18.
- Bregelmann, G. L. · Johnson, J. M. · Hermansen, L. & Rowell, L. B.(1977). Altered control of skin blood flow during exercise at high internal temperatures. *J Appl Physiol* 43, 790~794.
- Castro, R. R. · Mendes, F. S. & Nobrega, A. C.(2009). Risk of hypothermia in a new Olympic event: the 10-km marathon swim. *Clinics*, 64(4), 351~356.
- Cheuvront, S. N. · Kenefick, R. W. · Montain, S. J. & Sawka, M. N.(2010). Mechanisms of aerobic performance impairment with heat stress and dehydration. *J Appl Physiol* (1985). 109(6), 1989~1995.
- Coyle, E. F. & González-Alonso, J.(2001). Cardiovascular drift during prolonged exercise: new perspectives. *Exerc Sport Sci Rev* 29, 88~92.
- Diversi, T. · Franks-Kardum, V. & Climstein, M.(2016). The effect of cold water endurance swimming on core temperature in aspiring English Channel swimmers. *Extrem Physiol Med*. doi: 10.1186/s13728-016-0044-2. eCollection.
- Drygas, W. · Rębowska, E. · Stepień, E. · Golański, J. & Kwaśniewska, M.(2014). Biochemical and hematological changes following the 120-km open-water marathon swim. *J Sports Sci Med*. 13(3), 632~637.
- Federation Internationale de Natation. FINA handbook - Constitution and rules(2005 - 2009). Lausanne: FINA Office; 2005. *Open-water swimming*; 146~553.
- Galloway, S. D. & Maughan, R. J.(1997). Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. *Med Sci Sports Exerc* 29, 1240~1249.
- Harris, K. M. · Henry, J. T. · Rohman, E. · Haas, T. S. & Maron, B. J.(2010). Sudden death during the triathlon. *JAMA*. 303(13), 1255~1257.
- Hong, S. K. & Nadel, E. R.(1979). Thermogenic control during exercise in a cold environment. *J Appl Physiol*. 47, 1084~1089.
- Holmer I. & Bergh, U.(1976). Metabolic and thermal response to swimming in water at varying temperatures. *J. Appl. Physiol*. 37, 702~705.
- Hue, O. · Monjo, R. & Riera, F.(2015). Imposed Cold-water Ingestion during Open Water Swimming in Internationally Ranked Swimmers. *Int J Sports Med*. 36(11), 941~946.
- Kenny, G. P. · Poirier, M. P. · Metsios, G. S. · Boulay, P. · Dervis, S. · Friesen, B. J. · Malcolm, J. · Sigal, R. J. · Seely, A. J. & Flouris, A. D.(2016). Hyperthermia and cardiovascular strain during an extreme heat exposure in young versus

- older adults. *Temperature (Austin)*. 4(1), 79~88.
- Knechtle, B. · Rosemann, T. & Rüst C. A.(2015). Ice swimming and changes in body core temperature: a case study. *Springerplus*. 4:394, doi: 10.1186/s40064-015-1197-y. eCollection.
- Macaluso, F. · Barone, R. · Isaacs, A. W. · Farina, F. · Morici, G. & Di Felice, V.(2013). Heat stroke risk for open-water swimmers during long-distance events. *Wilderness Environ Med*. 24(4), 362~365.
- Marx J.(2006). *Rosen's Emergency Medicine: Concepts And Clinical Practice*. Philadelphia: Mosby/Elsevier.
- Martineau, L. & Jacobs, I.(1988). Muscle glycogen utilization during shivering thermogenesis in humans. *J Appl Physiol*. 65, 2046~2050.
- McArdle, W. D · Magel, J. R. · Lesmes, G. R. & Pechar, G. S.(1976). Metabolic and cardiovascular adjustments to work in air and water at 18, 25 and 33°C. *J Appl Physiol*. 40, 85~90.
- McMurray, R. G. & Horvath, S. M.(1979). Thermoregulation in swimmers and runners. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 46(6), 1086~1092.
- Miller, C. C. · Calder-Becker, K. & Modave, F.(2010). Swimming-induced pulmonary edema in triathletes. *Am J Emerg Med*. 28(8), 941~946.
- Montain S J. · Sawka M. N. · Cadarette B. S. · Quigley M. D. & McKay J. M.(1994). Physiological tolerance to uncompensable heat stress: effects of exercise. intensity, protective clothing, and climate. *J Appl Physiol* 77, 216~222.
- Moon, R. E. · Martina, S. D. · Peacher, S. F. & Kraus, W. E.(2016). Deaths in triathletes: Immersion pulmonary oedema as a possible cause. *BMJ Open Sport & Ex Med*. 2:e000146.
- Nielsen B.(1996). Olympics in Atlanta: a fight against physics. *Med Sci Sports Exerc* 28, 665~668.
- Park, C. H. & Kwak, Y. S.(2017). Cooling strategy for improving the performance of endurance sports in heat. *J. Life Science*, 5, 591~599.
- Parsons, L. & Day, S. J.(1986). Do wet suits affect swimming speed? *Br. J. Sports Med.*, 20(3), 129~131.
- Périard, J. D. · Travers, G. J. S. · Racinais, S. & Sawka, M. N.(2016). Cardiovascular adaptations supporting human exercise-heat acclimation. *Auton Neurosci*. 196, 52~62.
- Prado, A. · Dufek, J. · Navalta, J. · Lough, N. & Mercer, J. 2017. A first look into the influence of triathlon wetsuit on resting blood pressure and heart rate variability. *Biol Sport*. 34(1), 77~82.
- Redelmeier, D. A., & Greenwald, J. A.(2007). Competing risks of mortality with marathons: Retrospective analysis. *Brith Med. J.*, 335(7633), 1275~1277.
- Rizzo, L. & Thompson, M. W.(2017). Cardiovascular adjustments to heat stress during prolonged exercise. *J Sports Med Phys Fitness*. doi: 10.23736/S0022-4707.17.06831-1.
- Rüst, C. A. · Knechtle, B. & Rosemann, T.(2012). Changes in body core and body surface temperatures during prolonged swimming in water of 10°C-a case report. *Extrem Physiol Med*. 1(1):8. doi: 10.1186/2046-7648-1-8.
- Sloan, R. E. & Keatinge, W. R.(1973). Cooling rates of young people swimming in cold water. *J Appl Physiol.*, 35(3), 371~375.
- Stergioulas, A.(2013). Winter swimming in Greece. *Biol. Exerc.*, 9(1), 5~8.
- Sund-Levander M. · Forsberg C, & Wahren L K.(2002). Normal oral, rectal, tympanic and axillary body temperature in adult men and women: a systematic literature review. *Scand J Caring Sci*. 16, 122~128.
- Tipton MJ. Sudden cardiac death during open water swimming. 2013. *Br J Sports Med*. doi:10.1136/bjsports-2012-092021.
- Tipton, M. & Bradford, C.(2014). Moving in extreme environments: open water swimming in cold and warm water. *Extrem Physiol Med*. 11, 3~12.
- USA Triathlon(USAT).(2013). USA triathlon fatality incidents study. Retrieved from <http://www.usatriathlon.org/news/>.
- Vincent, M. J. & Tipton, M. J.(1988). The effects of cold immersion and hand protection on grip strength. *Aviat Space Environ Med*. 59, 738~741.
- Wallingford, R. · Ducharme, M. B. & Pommier, E.(2000). Factors limiting cold-water swimming distance while wearing personal floatation devices. *Eur J Appl Physiol*. 82(1 - 2), 24~29.
- Wells, C. L. & Paolone, A. M.(1977). Metabolic responses to exercise in three thermal environments. *Aviat Space Environ Med*. 48(10),

- 989~993.
- Wingo, J. E. · Ganio, M. S. & Cureton, K. J.(2012). Cardiovascular drift during heat stress: implications for exercise prescription. *Exerc Sport Sci Rev.* 40(2), 88~94.
- Yu, W. · Mengersen, K. · Wang, X. · Ye, X. · Guo, Y. · Pan, X. & Tong S.(2012). Daily average temperature and mortality among the elderly: a meta-analysis and systematic review of epidemiological evidence. *Int J Biometeorol.* 56(4), 569~581.
- Zhang, Y. · Davis, J. K. · Casa, D. J. & Bishop, P. A.(2015). Optimizing Cold Water Immersion for Exercise-Induced Hyperthermia: A Meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc.* 47(11), 2464~2472.
-
- Received : 03 August, 2017
 - Revised : 24 August, 2017
 - Accepted : 08 September, 2017