수온에 따른 수중휴식과 수중운동이 심혈관계 및 혈중젖산농도에 미치는 영향*

김기홍¹⁾ · 한경모²⁾ · 이대한¹⁾ · 고성식^{3)**}

1) 단국대학교 2) 산호세주립대학교 3) 한국교통대학교

ABSTRACT

Ki-Hong Kim · Kyung-Mo Han · Dae-Han Lee · Sung-Sik Ko. Effect of Water Temperature on the Cardiovascular System and Blood Lactate Concentration During Aquatic Exercise and at Rest. *KINESIOLOGY*, 2016, 18(3): 13-21. **[PURPOSE]** The purpose of this study was to investigate the effects of different water temperature on heart rate, body temperature, cardiovascular stress and blood lactate concentration in male college students while performing aquatic exercise and at rest. **[METHODS]** A total of 8 participants performed aquatic exercise with intermittent rest periods. The water temperatures were 18°C and 38°C. Physiological variables were measured at rest and at 5, 10, 15 and 20 minutes post exercise. **[RESULTS]** The results showed that heart rate increased during rest and exercise periods at 38°C and the difference in increased heart rate was substantially larger as the temperature increased. Systolic blood pressure increased during rest and exercise periods when the temperature was low. During rest, the rate of increase on systolic blood pressure was higher at 18°C. Therefore, during exercise and rest periods, both high and low temperatures had no significant impact in accordance with the rate pressure product. During rest and exercise periods, 18°C caused body temperature to constantly stay low. During rest, 38°C caused body temperature to stay high. Blood lactate concentration constantly increased while resting at low temperature. At high temperature, blood lactate concentration did not change. On the other hand, while exercising, blood lactate concentration constantly increased at both 18°C and 38°C. **[CONCLUSIONS]** During rest and exercise at low and high temperatures, heart rate and systolic blood pressure showed an inverse response to water temperature changes, while the rate pressure product remained constant. During rest, the recovery mechanism is more effective at the higher temperature of 38°C. However, during exercise, the recovery mechanism is more effective at a water temperature of 18°C.

Key words : aquatic exercise, body temperature, heart rate, blood lactate concentration, double production, blood pressure
주요어 : 수중운동, 체온, 심박수, 혈중젖산농도, 심부담도, 혈압

서론

수중운동은 중력의 반대 반향으로 작용하는 부력과 물속에서 유동체 분자에 의해 신체에 가해지는 수압 및 물의 점성에 의해 발생하는 물의 저항적 흐름을 이용하게 된다. 따라서 수중에서의 운동은 운동의 효과를 높이면서도 물의 부력에 힘입어 체중부하로 관절에 가해지는 압박과 중력에 대한 노력을 줄이게 되므로 부상의 예방은 물론 위험성을 낮추어 줄뿐만 아니라 유체역학적 수압은 부종을 감소시켜 운동치료를 손쉽게 수행할 수 있게 한다(Hoffman & Pedersen, 1994).

또한 물속에서의 신체활동은 운동과 오락의 기능이 있기 때문에 동기를 유발시켜 운동의 효과를 높이는 데 효과적이며(McNeal, 1990), 특히 노인이나 환자에게도 쉽게 적용시킬 수 있는 이점이 있다(Wilder et al., 1993). Dishman et al.(1998)은 수중운동이 참여자들의 일상생활 능력향상은 물론 근기능, 심폐기능 및 균형감각 등의 체력증진에 효과적임을 밝힌 바 있다.

이러한 배경에서 수중운동에 따른 노인들의 체력, 자세안정 및 낙상(Kang et al., 2014; Kim, 2012; Fiskien et al., 2015), 뇌성마비 아동의 운동기능과 균형능력(Kim & Lee, 2015; Fragala et al., 2014), 관절

* 본 논문은 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 산업기술혁신사업의 일환으로 수행하였음(N0001200, 웰리스스파 임상지원센터 기반 구축사업).

** 교신저자: koss@ut.ac.kr

염 환자들의 균형 및 보행기능(Lee & So, 2015; Waller et al., 2014), 선수들의 재활(Park & Kim, 2015; Hoskin et al., 2013), 비만자들의 신체구성의 변화(Oh, 2014; Irandoust & Taheri, 2015) 등에 이르기 까지 수중운동에 대한 연구는 국내외적으로 최근까지 남녀노소 여러 계층의 피험자를 대상자를 다양하게 수행되고 있다.

그에 반해 수중운동 그 자체의 환경요인인 수온에 따른 변인들의 변화를 규명한 연구는 많지 않은 실정이다. 외국의 경우 Gleim & Nicholas(1989)는 수중운동 시 수온에 따른 연구를 발표하였다. 그러나 Hall et al.(1998)은 수중운동에서의 수온 조건은 생리학적 변인에 크게 영향을 주지 않는다고 주장한 바 있다. 이후 이 분야에 대한 연구가 미미하다가 최근에 와서야 수온에 따른 에너지대사, 심혈관계 및 생리학적 반응에 대한 연구(Bergamin et al. 2015; Fujimoto et al., 2015; Yazigi et al., 2013)들이 발표되고 있다. 국내에서는 수온에 따른 스쿼트 운동 시 심혈관계의 반응(Kim & Kim, 2015)과 수영운동 중 수온별에 따른 혈중젖산농도(Kim & Kim, 2007) 외에는 수온환경과 관련된 연구가 거의 검색되지 않았다.

그럼에도 불구하고 June(2010)은 수영 25.5℃, 저항 훈련 28-30℃, 치료와 재활 33-35℃, 관절염 28-31℃, 노인 28-30℃ 등 수중운동시 운동종목, 질환 및 대상자에게 각각 적절한 수온을 제시하고 있으며, Stanly et al.(2006)은 수온에 따라 다양한 심혈관계 및 호르몬의 농도에 영향을 줄 수 있음을 제기하였다. Park(1994)는 수중의 환경에 따른 생리학적 변인을 규명하는 것은 학문적으로 의미가 있으며, 수중에서 저온(12-18℃)과 고온(38-45℃)의 조건을 제시한 바 있다. 본 연구에서는 이를 참고하여 고온과 저온의 조건을 각각 38℃와 18℃로 결정하였다. 게다가 국내외에서 수행된 연구는 주로 운동조건에 따른 생리학적 변화를 규명하는 것이 대부분이었다. 이에 본 연구는 수온 차이에 따른 운동 증뿐만 아니라 휴식시의 조건을 고려하여 수중에서의 휴식 시와 운동 시 수온 차이에 따른 심혈관계의 변화와 피로의 회복양상을 동시에 알아보고자 하였다.

따라서 본 연구의 목적은 수온의 조건에 따라 휴식 시 및 운동시의 심박수, 수축기혈압, 체온, 심부담도

및 혈중젖산농도가 어떠한 변화를 보이는지를 규명하는데 있다.

연구 방법

연구대상

본 연구의 대상자는 D대학교에 재학 중인 남학생 8명으로 하였다. 연구대상자는 모두 의학적 문진과 검사를 통해 질환이 없었고, 사전에 운동검사의 내용과 방법에 관해서 충분한 설명을 들었다. 이들은 본 연구의 의의를 충분히 이해하였고 자발적으로 실험에 참여할 의사를 밝히고 동의서를 서명하였다.

표 1. 피험자의 신체적 특성 (M ± SD)

Subject	Age	Weight(kg)	Height(cm)	Body fat(%)
N=8	21±2.10	69±6.8	175±6.2	15.5±3.8

실험방법 및 변인측정

본 연구의 실험은 C시 소재의 T온천 실내 아쿠아 센터에서 시행하였다. 피험자는 수온 18℃와 38℃의 두 조건에 무작위로 각각 4명씩 배정된 다음, 다시 휴식조건과 운동조건에 두 조건에 무작위로 각각 2명씩 배정된 후 실험에 임하였다. 이후에는 수온 18℃의 휴식조건, 수온 18℃의 운동조건, 수온 38℃의 휴식조건, 수온 38℃의 운동조건에 교차배분 되어 개인당 총 4회의 실험에 참여하였다.

피험자는 실험전날 과도한 운동이나 음주를 피하도록 하였고, 일상적인 활동 및 섭식을 유지하도록 교육하였다. 매회 실시되는 실험은 개인당 약 30분 정도가 소요되었으며, 1주일의 간격을 두고 반복측정을 수행하였다. 또한 매회 실험에는 1명씩 측정에 임하였으며, 하루에 2-4명 정도 측정하였다. 실험당일에는 피험자가 측정 30분 전에 아쿠아 센터에 도착하여 안정을 취하도록 하였으며, 안정 시 심박수, 혈압, 체온 및 혈중젖산농도를 측정하였다. 또한 고온과 저온의 조건에서 휴식 및 운동 시 모두 각각 5분, 10분, 15분 20

분 시점에서 1분 동안 안정시와 동일한 변인을 측정하였다. 운동은 June(2010)의 연구에 기초하여 총 운동시간을 20분으로 구성하였으며, 각각 5분간 운동을 실시하고 나서 1분간 휴식시간에 측정하였다.

매회 실험은 피험자 1명씩 측정하였으며, 모든 변인은 1분 이내에 측정이 종료되도록 하였다. 심박수는 가슴에 무선 송신기를 착용하는 방식의 무선심박측정기인 Polar(S610i, 핀란드)를 이용하여 측정하였다. 무선심박측정기는 가슴의 가운데 부위에 무선심박 측정 센서가 위치하도록 하였다. 혈중젖산농도는 순간채혈기(Lactate Pro2, LT-1730, 일본)로 손끝의 혈액을 채취하여 직접 분석하는 방법으로 측정하였다. 수축기혈압은 자동혈압측정기(EASY X 800(R), 한국)를 이용하여 측정하였다. 혈압측정기는 팔 바로 옆에 두고, 피험자는 팔의 물기를 닦고 오른팔이 심장높이가 되게 의자에 앉아서 측정을 하였다.

심부담도는 심박수와 수축기혈압의 곱으로 산출하였으며, 체온은 귀속형 체온계(IRT 4520, 한국)를 이용하여 간접적으로 측정하였다. 실험의 진행과 변인의 측정은 연구자와 실험경력 2년 이상인 D대학 스포츠 과학연구소 연구원 3명이 심박수, 젖산, 혈압, 체온을 각각 담당하여 측정을 하였다. 변인의 측정은 휴식조건과 운동조건의 안정시와 세트 간, 종료 후 각 5회 측정하였다. 체온은 매 세트 종료 직전 10초전에 체온 측정을 시도하여 세트 종료시에 측정하였으며, Polar의 모니터로 심박수를 확인하고, 즉시 손끝의 혈액을 채취하고, 바로 수축기혈압을 측정하였다.

수중운동 프로그램

수중운동프로그램의 동작은 ①수중 양팔 앞에서 뒤로 젖기 ②수중 양팔 수평으로 앞뒤 젖기 ③수중 양팔 옆으로 들어올리기 ④수중 앞으로 걷기 ⑤수중 뒤로 걷기 ⑥수중 스쿼트 ⑦수중 다리 옆으로 들기(오른쪽) ⑧수중 다리 옆으로 들기(왼쪽) ⑨수중 다리 앞뒤로 젖기(오른쪽) ⑩수중 다리 앞뒤로 젖기(왼쪽). 총 10가지 동작을 각각 20회씩 순서대로 실시하였다. 한 동작에는 20초의 운동과 10초 휴식을 두는 순환운동 형식으로 5분이 소요되었으며, 세트 간 휴식은 1분으로 하여 4세트를 실시하였다. 따라서 전체 소요시간은 수중순환운동 20분(5분

×4회)과 세트간 휴식 각1분(1분×3회 총 3분)을 포함하여 총 23분으로 하였다. 운동강도는 자각적 운동강도(Borg, 1998)을 기준으로 “어느 정도 힘들다”로부터 “힘들다”의 느낌을 갖는 12-16이 유지되도록 하였다.

자료처리

본 연구를 통해 산출된 자료는 컴퓨터 통계프로그램인 SPSS 18.0 Window를 사용하였다. 수온차이(2)와 측정시기(5)에 따른 변인들의 검증은 반복측정 이원변량분석(repeated measures two-way ANOVA)을 적용하였으며, 측정시기 간에 유의한 차이를 보인 경우 Contrast의 repeated 방법과 simple(first)으로 사후비교를 실시하였다. 통계적인 유의수준은 $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

결과

수중에서의 휴식시 변인들의 변화

<표 2>는 휴식 시 수온조건과 측정시기에 따른 심혈관계 및 혈중젖산농도의 변화를 검증한 결과이다. 심박수는 수온조건, 측정시기 및 두 조건간의 상호작용효과가 통계적으로 각각 유의하였다, 따라서 상호작용에 근거하여 사후비교를 실시한 결과 휴식조건의 심박수는 고온이 저온보다 유의하게 높았다($p<.001$). 또한 시간 경과에 따라 저온조건의 심박수는 변화가 없는데 비해 고온조건에서는 입욕 10분까지 유의하게 증가되다가 유지되는 양상을 보였다. 수축기혈압은 수온조건에 따라 유의한 차이가 있었으나, 측정시기 간에는 유의성이 없었다. 수온조건과 측정시기 간의 상호작용효과는 통계적으로 유의하였다, 따라서 상호작용에 근거하여 사후비교를 실시한 결과 휴식조건의 수축기혈압은 저온이 고온보다 유의하게 높았다($p<.001$). 또한 수축기혈압은 시간의 경과에 따라 저온에서는 10분 이후에 유의하게 증가되어 유지된 반면 고온조건에서는 거의 변화를 보이지 않았다. 반면 심부담도는 측정시기에 따라 통계적으로 유의하게 증가되다가 유지 혹은 감소되는 경향을 보였지만, 수온조

Table 2. Resting results of two-way ANOVA for HR, SBP, RPP, body temperature, and lactate concentration (M±SD)

variables	source	rest ①	5min ②	10min ③	15min ④	20min ⑤		F	contrast	η^2
HR (bpm)	18℃	75.7±4.9	82.5±8.6	82.0±7.4	82.75±5.9	81.5±5.9	temperature(T)	34.009**	①=②=③=④=⑤	.83
	38℃	75.6±4.3	83.5±5.1	98.25±5.7	93.75±6.2	94.2±3.3	measurement(M)	14.621***	①<②<③<④=⑤	.68
							(T) × (M)	27.197***		.80
SBP (mmHg)	18℃	134.0±5.8	131.5±18.3	156.2± 2.4	156.5±2.4	150.5± 7.4	temperature(T)	26.878***	①=②<③=④=⑤	.79
	38℃	132.5±3.8	133.0±15.8	123.0±10.3	123.7±2.8	126.5±10.3	measurement(M)	1.249	①=②=③=④=⑤	.15
							(T) × (M)	27.345***		.80
RPP	18℃	10143.8 ±853.3	10726.7 ±742.5	12821.2 ±1291.1	12961.5 ±1106.9	12282.5 ±1295.1	temperature(T)	1.022	①=②<③=④=⑤	.13
	38℃	10017.0 ±913.2	11042.0 ±791.2	12130.2 ±1616.4	11674.2 ±2531.7	11924.0 ±1067.4	measurement(M)	8.875***	①<②=③=④=⑤	.56
							(T) × (M)	2.463		.26
Body Temperature (℃)	18℃	36.3±0.1	35.3±0.4	33.5±0.6	32.9±0.5	33.3±1.0	temperature(T)	142.873***	①>②>③>④=⑤	.95
	38℃	36.4±0.2	35.9±1.6	35.5±0.9	37.1±0.7	37.2±1.0	measurement(M)	8.184***	①=②=③<④=⑤	.54
							(T) × (M)	11.315***		.62
Lactate Concentration	18℃	1.9±0.6	3.1±0.4	2.8±0.4	3.8±1.1	4.3±1.6	temperature(T)	14.053**	①<②=③=④=⑤	.67
	38℃	1.8±0.2	1.8±0.2	1.4±0.3	1.8±0.6	2.4±0.7	measurement(M)	6.225**	①>②>③<④<⑤	.47
							(T) × (M)	4.690**		.40

* $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$. HR: Heart Rate, SBP: Systolic Blood Pressure, RPP: double production.

건과 두 조건의 상호작용효과는 통계적인 유의성이 없었다. 체온은 수온조건, 측정시기 및 두 조건간의 상호작용효과가 통계적으로 각각 유의하였다, 따라서 상호작용에 근거하여 사후비교를 실시한 결과 휴식조건의 체온은 고온이 저온보다 유의하게 높았다($p<.001$). 또한 시간 경과에 따라 저온조건의 체온은 지속적으로 증가하는데 비해 고온조건에서는 안정시와 거의 비슷한 양상으로 유지되었다. 혈중젖산농도는 수온조건, 측정시기 및 두 조건간의 상호작용효과가 통계적으로 각각 유의하였다, 따라서 상호작용에 근거하여 사후비교를 실시한 결과 휴식조건의 혈중젖산농도는 저온이 고온보다 유의하게 높았다($p<.001$). 또한 시간 경과에 따라 저온조건의 혈중젖산농도는 입욕 5분 이후에 증가하여 유지되는데 비해 고온조건에서는 입욕 10분까지 감소하다가 이후에 안정 시 수준으로 증가되는 양상을 보였다.

수중에서의 운동시 변인들의 변화

<표 3>은 운동시 수온조건과 측정시기에 따른 심혈관계 및 혈중젖산농도의 변화를 검증한 결과이다. 심박수는 수온조건, 측정시기 및 두 조건간의 상호작용효과가 통계적으로 각각 유의하였다, 따라서 상호작용

에 근거하여 사후비교를 실시한 결과 휴식조건의 심박수는 고온이 저온보다 유의하게 높았으며, 또한 시간의 경과에 따라 두 조건의 모두 입욕 후 20분까지 지속적으로 유의하게 증가되었다($p<.001$). 수축기혈압은 수온조건, 측정시기 및 두 조건간의 상호작용효과가 통계적으로 각각 유의하였다, 따라서 상호작용에 근거하여 사후비교를 실시한 결과 운동조건의 수축기혈압은 저온이 고온보다 유의하게 높았다($p<.001$). 또한 시간의 경과에 따라 수축기혈압은 시간의 경과에 따라 저온에서는 운동 10분 이후부터 유의하게 증가되어 유지된 반면 고온조건에서는 운동 10분까지 감소되다가 약간 증가하는 추세를 보였지만 휴식 시 수준보다 낮게 나타났다. 반면 심부담도는 측정시기에 따라 통계적으로 유의하게 증가되거나 증가된 후 유지되는 경향을 보였지만, 수온조건과 두 조건의 상호작용효과는 통계적인 유의성이 없었다. 체온은 수온조건, 측정시기 및 두 조건간의 상호작용효과가 통계적으로 각각 유의하였다, 따라서 상호작용에 근거하여 사후비교를 실시한 결과 운동조건의 체온은 고온이 저온보다 유의하게 높았다($p<.001$). 또한 시간 경과에 따라 저온조건의 체온은 운동 5분부터 감소되어 유지되는데 반해 고온조건에서는 안정시와 거의 비슷한 양상으로 유지되었다. 혈중젖산농도는 수온조건, 측정시기 및 두 조건간의 상호작용효과가 통계적으로 각각

Table 3. During exercise results of two-way ANOVA for HR, SBP, RPP, body temperature, and lactate concentration (M±SD)

variables	source	rest ①	5min ②	10min ③	15min ④	20min ⑤		F	contrast	η^2
HR (bpm)	18℃	75.4±5.1	130.2±22.5	136.2±18.8	144.6±19.8	152.3±14.7	temperature(T)	11.619*	①<②<③<④<⑤	.62
	38℃	74.9±4.5	147.7± 5.8	160.5± 4.1	167.0± 2.5	176.2± 4.0	measurement(M)	242.349***	①<②<③>④<⑤	.97
							(I) × (M)	8.602***		.55
SBP (mmHg)	18℃	133.5±5.7	138.6±13.1	133.5±10.1	145.7±4.5	149.0± 6.0	temperature(T)	68.951***	①=②=③<④=⑤	.90
	38℃	134.1±5.3	122.5± 4.7	106.5± 2.8	116.5±5.5	126.0±11.5	measurement(M)	10.870***	①>②>③<④<⑤	.61
							(I) × (M)	14.229***		.67
RPP	18℃	10065.9 ±853.3	18284.2 ±4653.9	18247 ±3319.5	21154.2 ±3440.7	22777.8 ±3008.3	temperature(T)	.492	①<②=③=④=⑤	.06
	38℃	10044.1 ±853.3	18112.8 ±1234.0	17089.0 ±2493.1	19456.3 ±2997.9	22189.1 ±1854.6	measurement(M)	103.327***	①<②=③<④<⑤	.93
							(I) × (M)	.838		.10
Body Temperature (℃)	18℃	36.5±0.2	34.8±1.9	34.7±1.2	33.6±2.0	34.4±0.8	temperature(T)	45.181***	①>②=③=④=⑤	.87
	38℃	36.6±0.3	35.5±0.9	35.7±0.9	36.3±0.8	36.2±0.5	measurement(M)	4.492*	①=②=③=④=⑤	.39
							(I) × (M)	10.098***		.59
Lactate Concentration	18℃	1.8±0.3	2.6±0.5	3.1±0.9	3.8±1.2	4.4±1.5	temperature(T)	56.914***	①<②<③<④<⑤	.89
	38℃	1.8±0.2	4.8±1.5	7.4±2.6	8.4±2.9	9.5±2.7	measurement(M)	42.825***	①<②<③<④<⑤	.86
							(I) × (M)	42.297***		.86

* $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$ HR: Heart Rate, SBP: Systolic Blood Pressure, RPP: double production.

유의하였다, 따라서 상호작용에 근거하여 사후비교를 실시한 결과 운동조건의 혈중젖산농도는 고온이 저온보다 유의하게 높았다($p<.001$). 또한 시간 경과에 따라 저온조건의 혈중젖산농도는 입욕 10분 이후에 감소하는데 비해 고온조건에서는 안정시와 거의 비슷한 양상으로 유지되었다.

논의

심박수는 신경계, 호르몬 및 심장자체의 내인성 인자에 의해 조절된다고 알려져 있다. Gleim & Nicholas(1989)는 수중에서의 트레드밀 운동 시 심박수가 고온조건에서 높게 나타났고, Bergamin et. al.(2015)도 수중에서의 운동 시 같은 결과를 제시하였다. 한편, Kim et al.(2012)은 수온에 따라 무호흡 잠수 시 심박수의 차이가 없었다. 본 연구의 결과는 운동 중뿐만 아니라 휴식 시 모두 고온조건에서 심박수가 높다는 연구와 일치하였다. Willmore & Costil(1999)은 온탕의 경우 냉탕보다 혈관을 더 확장시켜 말초조직에 혈액량을 증가시키므로 상대적으로 1회박출량이 감소되어 심박출량을 일정하게 유지시키기 위해서는 심박수가 증가된다고 하였다. 이 기전은 본 연구의 고온조건에서

심박수가 높았던 것을 설명해 줄 수 있다고 생각된다.

또한 휴식 시 조건에서의 심박수는 저온의 경우 안정시와 비슷하게 유지되었고, 고온의 경우에는 증가된 심박수를 지속적으로 유지시켰다. 반면 운동시에는 두 조건 모두 지속적으로 심박수가 증가하였는데, 특히 고온에서 증가폭이 현저하게 높게 나타났다. 운동을 하면 관절수용체의 신경반사에 의해 초기에 심박수가 크게 증가되고 이후에는 호르몬이나 화학적인 변화에 기인되어 심박수가 증가하게 되므로(Jung, 2014) 두 조건 모두 운동에 의해 심박수가 증가된 것은 당연한 결과로 볼 수 있다. 한편, Park(1994)은 수중에서 고온(38-45℃)과 저온(12-18℃)이 일반 온도조건(21-36℃)보다 심박수를 더 높인다고 하였는데, 이는 본 연구에서 두 온도조건에서의 운동 시 심박수가 모두 증가된 것을 어느 정도 설명해 줄 수 있다고 생각된다. 특히 두 수온 조건에서 동일한 운동을 수행하였음에도 불구하고 고온에서 심박수가 지속적으로 현저하게 증가된 것은 운동 이외에 고온의 수온환경이 인체의 심혈관계에 추가적으로 스트레스를 더 주는 것으로 생각된다. 따라서 본 연구의 결과에 근거한다면 심박수는 수중운동 시 수온의 영향을 잘 반영해 주는 요인으로 보여 진다.

고온 또는 저온의 환경은 혈압을 변화시키는데, 그 중 수축기혈압은 주로 심박출량의 영향을 받는다고 알

려져 있다. Bergamin et al.(2015)은 11명의 노인을 대상으로 36℃와 28℃ 수온조건에서 점진적인 상지운동을 실시한 결과 수축기혈압이 저온조건에서 높게 나타났음을 보고하였다. 본 연구에서도 운동과 안정 조건 모두 저온에서 수축기혈압이 높았다. Willmore & Costil(1999)은 저온조건의 경우 체온이 낮아지면서 혈관이 수축되어 혈압이 상승되고, 고온에서는 체온이 상승되어 말초혈관이 확장되므로 오히려 혈압이 감소된다고 하였는데, 이 주장은 본 연구의 결과를 잘 설명해주고 있다.

한편, 시간의 경과에 따른 수축기혈압은 운동과 안정조건 모두 고온에서는 안정시보다 낮게 유지되었다. 그에 반해, 저온에서는 안정시보다 높게 유지되었고, 운동시에는 점차적으로 증가되었지만 안정시 수준보다는 낮게 나타나는 특징을 발견할 수 있었다. Kwak et al.(2015)은 덥고 습한 환경에서의 운동시에는 심박출량의 약 20%가 체온을 낮추기 위해 체표면으로 흐른다고 하였다. 본 연구에서도 고온조건의 경우 당연히 말초혈관이 확장되어 수축기혈압이 감소되었다고 보여지며, 특히 운동조건의 경우에는 동적운동에 따라 활동근육 내의 혈관이 확장되어 혈류저항을 감소시키는(Stanly et al., 2006) 기전이 추가되었기 때문에 안정시보다 더 낮게 나타났다고 보여진다. 반면 저온조건에서는 체온유지를 위해 혈관이 지속적으로 수축되었기 때문에 시간의 경과에 따라 수축기혈압이 계속 높아졌을 것으로 예측되며, 18℃의 저온에서는 동적운동에 따른 혈압의 감소효과보다는 체온조절 기전이 더 작용하는 것으로 생각된다.

Bergamin et al.(2015)은 고온과 저온에서의 심부담도는 차이를 보이지 않았다. 본 연구에서도 운동과 안정 조건 모두에서 수온에 따라 심부담도는 비슷하였다. 심부담도는 심박수와 수축기혈압의 곱에 의해 결정되게 된다. 따라서 본 연구의 결과에서 보듯이 휴식시와 운동시 두 조건 모두 저온의 경우 심박수는 낮고 수축기혈압은 높았던 것에 비해 고온의 경우에는 심박수는 높고 수축기혈압은 낮았다. 이러한 결과는 본 연구에서 수온조건에 따라 심부담도의 차이가 없었던 것을 설명해주고 있다. 또한 휴식시보다 운동시에 심부담도가 높았던 것은 당연한 결과로 보여지며, 온도조건과 더불어 활동근에 더 많은 혈액을 박출하였기 때문으로 볼 수 있다.

환경온도에 대한 체온조절 기전으로서, 고온에서는 피부조직으로 혈류량을 증가시켜 배출하고, 저온에서는 체온을 유지시키기 위해 혈관을 수축시켜 내부 열을 보존시킨다(Hesselberg et al., 1995). 그 중 물은 비증과 열전도율이 공기보다 높기 때문에 물속에서 열손실은 피부온도와 수온의 차이에 비례한다(Cheung & McLellan, 1998). 본 연구의 결과 운동 중뿐만 아니라 휴식시 모두 저온조건에서 체온이 고온보다 낮았고, 휴식시 고온에서는 안정시의 체온보다 약간 높았다. 반면 운동시에는 안정시와 같은 수준을 유지하였다. 수온이 피부온도보다 높으면 체온은 증가될 수 있다고 하였는데(Jung et al., 2014), 이는 본 연구에서 휴식시 고온(38℃)에서 체온이 약간 상승된 것을 어느 정도 설명해주고 있다. 그에 반해 더운 수온은 인체의 심혈관계에 추가적으로 스트레스를 더 주기 때문에(Bergamin et al., 2015) 운동시에는 체온이 더 증가될 것으로 예측하였으나 운동시 체온은 증가되지 않았다. 이는 운동으로 인해 혈액분배와 발汗으로 신체의 열손실을 증가시켜 체온의 증가를 최소화시키기 때문으로(Steggman et al, 1982) 생각된다. 또한 40℃의 수온에서는 인체에 부담을 준다고 하였는데(Min, 1993), 본 연구의 범위 내에서 본다면 38℃의 수온에서의 운동은 신체에 큰 부담을 주지 않는 것으로 보여진다. 반면 저온환경에서는 체온을 보존시키려는 생리적인 기전이 작동되어도 시간이 경과에 따라 서서히 낮아지므로(Kim & Kim, 1999) 저온에서 체온이 낮은 것은 당연한 결과로 보이며, 또한 휴식시보다 운동시에 체온이 약간 높았던 것은 활동근에서 열을 발생시켰기 때문으로 볼 수 있다. Stanly et al.(2006)은 운동 중 심부담도는 대부분의 환경에서 37℃를 기준으로 2~3℃ 범위 내에서 일정하게 유지된다고 하였는데, 본 연구의 결과로 미루어 볼 때, 이러한 주장은 비교적 설득력이 있다고 사료된다.

젖산은 운동피로 평가지표가 되는 대표적인 생리적 피로 물질로 알려져 있다(Gladden, 2004; Sicilano et al., 2000). Kim & Kim(2007)은 수중에서 안정시의 경우 저온에서 혈중젖산농도가 높게 나타났고 운동직후에는 고온에서 높았다. Yazigi et al.(2013)은 수중운동시 저온보다는 고온에서 젖산농도가 높았다. 본 연구에서는 휴식시의 경우 저온에서는 젖산농도가 지속적

으로 증가하였고, 고온에서는 안정시와 비슷한 수준을 유지하였다. 반면, 운동시에는 저온과 고온 모두 시간의 경과에 따라 증가하였지만 고온조건에서 증가폭이 현저하였다. Kim & Kim(2007)은 저온환경의 경우 체온조절을 위해 말초혈관이 더 수축되므로 혈액순환이 원활하지 않아 혈중젖산농도가 높고, 고온에서는 혈관 확장과 혈류량 증가 기전에 의해 농도가 낮아진다고 주장하였는데, 이는 본 연구의 휴식 시 결과를 설명할 수 있으며, 또한 동의된다.

운동시의 젖산농도는 저온조건의 경우, 혈관수축과 수중운동으로 인한 혈관수축이 가중되므로 운동시에 높아질 것으로 예측하였다. 그러나 본 연구에서는 휴식시와 거의 비슷하였다. 이로 미루어 볼 때, 저온환경에서의 젖산농도는 운동에 의한 변화보다는 수온환경에 대한 적응기전에 더 영향을 받는 것으로 보인다. 반면에, 고온조건에서는 환경온도에 따른 혈관 확장과 혈류량 증가뿐만 아니라 운동에서 유발된 신체적인 피로가 가중되어 체내 젖산생성과 축적이 증가되었다고 하였는데(Jacobs et al., 1986), 본 연구의 결과로 미루어 볼 때 이 주장은 설득력이 있다고 생각된다.

결론 및 제언

심박수는 휴식시와 운동 시 모두 고온에서 높았고 증가폭도 컸으나 수축기혈압은 반대로 저온에서 높았고 저온에서 증가폭이 컸다. 체온은 휴식시와 운동 시 모두 저온에서 낮게 유지되었고 휴식시 고온에서 높았다. 혈중젖산농도는 휴식 시 저온에서 높았고, 고온에서는 안정시와 비슷하였다. 반면, 운동시에는 저온과 고온 모두 높았고 고온에서 증가폭이 현저하였다. 요약하면, 휴식시와 운동 시 고온과 저온에서의 심박수와 수축기혈압은 서로 상반적이어서 수온에 따른 심부담도는 비슷한 것으로 보여 진다. 또한 피로회복은 휴식시의 경우 고온에서, 운동 시에는 저온에서 더 효과적일 수 있다고 사료된다. 추후에는 일반 온도조건을 고려한 연구가 수행될 필요가 있다고 보여 진다.

참고문헌

- Bakhwanseo (1994) *Health bath therapy*. Vissem, Seoul.
- Benelli, P., Colasanti, F., Diterilo, M., Cuesta, A., Gatta, G., Giacomini, F., & Lucertini, F. (2014). Physiological and biomechanical responses to walking underwater on a non-motorised treadmill: effects of different exercise intensities and depths in middle-aged healthy women. *Journal of Sports Sciences*, 32(3): 201-209.
- Bergamin, M., Ermolao, A., Matten, S., Sieverdes, J. C., & Zaccaria, M. (2015). Metabolic and Cardiovascular Responses During Aquatic Exercise in Water at Different Temperatures in Older Adults. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 86(2): 155-165.
- Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Dishman, R. K., Bunnell, B. N., Youngstedt, S. D., Yoo, H. S., Mougey, E. H., & Meyerhoff, J. L. (1998). Activity wheel running blunts increased plasma adrenocorticotrophin (ACTH) after footshock and cage-switch stress. *Physiology & behavior*, 63(5): 911-917.
- Fisken, A. L., Waters, D. L., Hing, W. A., Steele, M., & Keogh, J. W. (2015). Comparative Effects of 2 Aqua Exercise Programs on Physical Function, Balance, and Perceived Quality of Life in Older Adults With Osteoarthritis. *Journal of Geriatric Physical Therapy*, 38(1): 17-27.
- Fragala, M. A., Smith, H. J., Lombard, K. A., Barlow, C., & Oneil, M. E. (2014). Aquatic aerobic exercise for children with cerebral palsy: a pilot intervention study. *An International Journal of Physiotherapy*, 30(2): 221-229.
- Fujimoto, T., Sasaki, Y., Wakabayashi, H., Sengoku, Y., Tsubakimoto, S., & Nishiyasu, T. (2015). The effects of water temperature on physiological responses and exercise performance during

- p>immersed incremental exercise.
- Extreme Physiology & Medicine*
- , 4(Suppl 1): A37.
- Gladden, L. B. (2004). Lactate metabolism. *Journal of physiology*, 558(1): 53.
- Gleim, G. W., & Nicholas, J. A. (1989). Metabolic costs and heart rate responses to treadmill walking in water at different depths and temperatures. *The American journal of sports medicine*, 17(2): 248-252.
- Hall, J., Macdonald, I. A., & Maddison, P. J. (1998). Cardiorespiratory Responses to underwater treadmill walking in healthy females. *European Journal of Applied Physiology*, 77: 278-284.
- Hesselberg, O., Waag, T., & Reinertsen, R. E. (1995). Metabolic changes during cold water immersion. *Arctic Medical Research*, 54: 65-69.
- Hoffman-goetz, L., & Pedersen, B. K. (1994). *Exercise and immune function*. Boca Raton: CRC Press.
- Hoskin, K., Dodd, K, Chan, S. P., Rosengarten, S., & Heywood, S. (2013). Aquatic Exercise Compared to Contrast Therapy With Shallow Water Treadmill Running to Assist Recovery in Elite Australian Rules Footballers. *International Journal of Aquatic Research and Education*, (7): 314-331.
- Irاندoust, K., & Taheri, M. (2015). The effects of aquatic exercise on body composition and nonspecific low back pain in elderly males. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(2): 433-435.
- Jacobs, O. (1986). Blood lactate implications for training and sports performance. *Sports Medicine*, 3: 10-25.
- June Lindle (2010). *Aquatic Fitness Professional Manual*. AEA.
- Jung, I. K(2014). *Human performance & Exercise Physiology*. DKbooks, Seoul.
- Jung, S. T., Choi. D. H., Jun. T. W., & So. W. Y. (2014), *Exercise Physiology*. Life science, Seoul.
- Kang, S. S., So. J. M., & Choi. H. J. (2014). Effect of Aquatic Exercise on Fall-related Fitness and Posture Stability in Elderly Women. *The Korean Journal of Growth and Development*. 22(2): 209~216.
- Kang, Y. S., & Kim. J. C. (2015). The effect of temperature of swimming exercise on mitochondria biogenesis and fusion in the skeletal muscle of obese-induced rats. *The Korea Journal of Sports Science*, 24(4): 1291-1302.
- Kim. B. O., & Lee. H. J. (2015). Effects of Aquatic Rehabilitation Program on Gross Motor Function and Balance in Children with Cerebral Palsy. *Journal of Korean Society of Integrative Medicine*, 3(3): 35~42.
- Kim. B. J, Lee. D. T., & Lee. W. Y. (2012). Influence of Repeated Breath-hold Diving In Cold Water on Heart Rate, Lactate, and Blood Oxygen Saturation. *Journal of Korean Society of Living Environmental System*, 19(1): 75-81.
- Kim. D. Y., & Kim., W. H. (2007). Comparision Blood Lactate Concentration according to the Water Temperatures and Sampling Sites in Swimming. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 30: 445-455.
- Kim. H. S., & Kim. K. J (1999). Effect of Water Immersion Ability with Breath - hold Under Various Water Temperature on the Change of Heart Rate Blood Lactate and Rectal Temperature. *The Korean Journal of Growth and Development*, 7: 229-231.
- Kim. K. H., & Kim. J. H. (2015). The Effect of Squat Exercise on Heart Rate, Systolic Blood Pressure and Cardiovascular Stress Based on Water Depth and Temperature. *The Korea Journal of Sports Science*, 24(4): 1565-1572.
- Kim. N. I. (2012). The Effects of Aquatic and Land Exercise on Atherosclerosis Indices and Inflammation Response Markers in Elderly with Metabolic Syndrome. *The Korean Journal of Growth and Development*, 20(4): 277-286.

- Kwak. L. S., Kwak. H. B., Kim. C. S., Park. J. J., Baek. S. S., Seo. D. I., Song. U., Lee. W. J., Jang. H. K., & Jo. J. Y. (2015). *Essentials of exercise physiology*. Life science, Seoul.
- Lee. S. S., & So. Y. S. (2015). The Effects of Aquatic Rehabilitation Exercise on Pain, Physical Function, Walking Ability and Falls Efficacy in Patients with Knee Osteoarthritis. *The Korea Journal of Sports Science*, 24(5): 1241-1251.
- McNeal, R. L. (1990). Aquatic therapy for patient with rheumatic disease. *Rheumatic Disease Clinics of North America*, 18(4): 915-929.
- Oh. B. S. (2014). Relationships of Aquatic Exercise with Abdominal Obesity and Indicators of Metabolic Syndrome in Korean Postmenopausal Women. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 55(2): 1041-1052.
- Park. H., & Kim. D. H. (2015). The effects of rehabilitation exercise program on muscular function and lysholm score of male soccer players with meniscectomy. *The Korea Journal of Sports Science*, 24(5): 1357-1370.
- Park. H. S. (1994). *Therapy for health bath* Vitsaem. Seoul.
- Siciliano, G., Manca, M. L., Renna, M., Prontera, C., Mercuri, A., & Murri, L. (2000). Effects of aerobic training on lactate and catecholaminergic exercise responses in mitochondrial yopathies. *Neuromuscul Disord* 10(1): 40-45.
- Stanly P. B., Wayne C. M., & Jane M. E. (2006). *Basis of human movement in health and disease* IL: Lippincott Williams & Wilkins.
- Steggman, H., & Kinderman, N. (1982). Comparisson of prolonged exercise test at the individual anaerobic threshold and the jxed threshold of 4 mmol/l lactate. *International Journal of Sports Medicine*, 3: 105-110.
- Waller, B., Ogonowska, A., Vitor, M., Lambeck, J., Daly, D., Kujala, U. M., & Heinonen, A. (2014). Effect of Therapeutic Aquatic Exercise on Symptoms and Function Associated With Lower Limb Osteoarthritis: A Systematic Review With Meta-Analysis. *Journal of the American Physical Therapy Association*, 96(2): 1-22.
- Wilder, R. P., & Brennan, D. K. (1993). Physiological response to deep water running in athletes. *Sports Medicine* 16: 374-380.
- Willmore, J. H., & Costil, D. I. (1999). *Physiolgy of sport and exercise*(2nd). IL: Human Kinetics.
- Yazigi, F., Pinto, oado, J., Escalante, Y., Armada, A. S., Brasil, R., & Alver, F. (2013). The cadence and water temperature effect on physiological responses during water cycling. *European Journal of Sport Science*, 13(6): 13-19.