

The Effect of High-Intensity Aerobic Continuous and Anaerobic Interval Training at 3,000 m Hypobaric Hypoxic Condition for Six-weeks on Aerobic and Anaerobic Exercise Capacity in Competitive Swimmers

Hun-Young Park¹ & Kiwon Lim^{1,2*}

¹Konkuk University Physical Activity and Performance Institute & ²Konkuk University Department of Physical Education

[Purpose] The purpose of this study was to determine the effectiveness of six-weeks intermittent hypoxic training at 3,000 m hypobaric hypoxic condition on aerobic and anaerobic exercise capacity in competitive swimmers. **[Methods]** South Korean swimmers (n=20) were randomly assigned into training at sea-level (n=10, intermittent normoxic training group; INT) and training at 526 torr corresponding to 3,000 m hypobaric hypoxic condition (n=10, intermittent hypoxic training group; IHT). The participants completed an aerobic continuous treadmill training (30 min) within 80%HRmax and anaerobic interval bicycle training (10 times; 2 min of exercise and 1 min of rest) for 30min within 90%HRmax in each environment. We compared their aerobic and anaerobic exercise capacity before and after six-weeks of training. Exercise frequency was 1 hour, 3 days per a week, and during 6 week. **[Results]** In aerobic exercise capacity, PWC at 75%HRmax, estimated VO₂max, and exercise time were increased by training in only the IHT group. Estimated VO₂ at 75%HRmax was increased by training in both groups, but presented a larger increase tendency in the IHT group compared with the INT group. In anaerobic exercise capacity, peak anaerobic power and fatigue index were increased by training in only the IHT group. Blood lactate level after wingate test were decreased by training in both groups, but the IHT group have a lower blood lactate level in after training compared with the INT group. **[Conclusion]** In our study, we did not measure to various dependent variables for support to enhancement of aerobic and anaerobic exercise performance. However, these results showed that the IHT method may be effective in improvement of exercise performance in competitive swimmers who participates in a variety of events from short to long distance.

Key words: Intermittent Hypoxic Training, Aerobic Exercise Capacity, Anaerobic Exercise Capacity, Competitive Swimmers 

서론

자연적·인공적 고지환경에서의 트레이닝은 다양한 방법(living-high training-high; LHTH, living-high

training-low; LHTL, living-low training-high; LLTH)을 통해 엘리트 선수들의 유산소성 운동수행능력을 향상시키는 것으로 보고되고 있다(Dufour et al., 2006; Ponsot et al., 2006; Park et al., 2016a; Sinex & Chapman, 2015). 일반적으로 자연적·인공적 고지환경에서의 트레이닝은 평지환경에서의 트레이닝과 비교했을 때, 적혈구(red blood cell; RBC) 및 헤모글로빈(hemoglobin; Hb) 수, 농도, 질량의 증가를 통한 적혈구생성능력(erythropoiesis)의 강화, 근

논문 투고일 : 2017. 01. 02.

논문 수정일 : 2017. 01. 23.

게재 확정일 : 2017. 02. 15.

* 교신저자 : 임기원 (exercise@konkuk.ac.kr).

* 이 논문은 2015년 대한민국 미래창조과학부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2015M3C1B1019479)

조직으로의 Hb와 마이오글로빈(myoglobin; Mg)의 운반증가를 통한 산소이용의 효율성 즉, 운동의 경제성(exercise economy)의 강화, 베타-아드레날린 수용체(β -adrenoreceptor)에 대한 반응의 민감도 향상에 의한 심장기능의 수축력 강화와 이를 통한 조직으로의 혈류량(blood flow) 및 혈액동역학(hemodynamic function) 능력의 증가 등을 바탕으로 유산소성 운동능력을 향상시키는 것으로 보고되고 있다(Czuba et al., 2011; Hamlin et al., 2010; Park et al., 2016).

현재, 다양한 자연적·인공적 고지환경에서의 트레이닝 방법 중에 가장 인기가 있으며, 많이 활용되는 것이 트레이닝 시에만 고지 및 저산소 환경에 노출하는 LLTH 방법에 해당하는 간헐적 저산소 트레이닝(intermittent hypoxic training; IHT)이다. IHT는 일반적으로 2~6주 동안에, 주 당 2~5회, 매일 3시간 이내로 저산소 환경에서 트레이닝을 실시하는 방법으로 노출시간이 짧고, 적은 비용이 들며, 접근성이 높아 유산소성 운동능력 향상에 있어 선수와 코치들에게 오늘날 가장 많이 활용되는 자연적·인공적 고지 환경 트레이닝 방법이다(McLean et al., 2014; Park et al., 2016). 또한, IHT는 조직에 구조적, 생리적, 생화학적 변화를 통해 산소운반 및 이용과 관련된 다양한 능력을 향상시키며, 이를 통해 유산소성 운동능력에 긍정적인 변화를 유도하는 것으로 보고되고 있다(Czuba et al., 2011; Mao et al., 2011).

최근에는 많은 연구자들에게 있어서 IHT가 유산소성 운동능력 뿐만 아니라 무산소성 운동능력을 증가시키는 것으로 보고되고 있다. IHT를 통한 유·무산소성 운동능력의 증가는 근 조직에서의 산소이용능력의 향상(Faiss et al., 2013; Galvin et al., 2013), 강화된 무산소성 에너지 공급 능력(Katayama et al., 2004), 혈중젖산에 대한 내성 증가(Hamlin et al., 2010), 산-염기 평형 능력의 개선(Park et al., 2016c) 등에 의해 나타난다고 보고되고 있다.

그러나 IHT를 통한 유산소성 및 무산소성 운동능력에 대한 개선효과와 관련된 연구의 경우, 긍정적인 결과(Hendriksen & Meeuwssen, 2003; Czuba et al., 2011; Faiss et al., 2013)와 부정적인 결과(Beidleman et al., 2009; Galvin et al., 2013; Puype et al., 2013)가 혼재해 나타나는 실정이다(McLean et al., 2014). 이러한 결과에서 주목할 점은 IHT를 적용하는

데 있어 저산소 환경에의 노출조건(시간, 기간, 빈도)과 대조군(평지환경에서의 운동군) 및 실험군(저산소 환경에서의 운동군)의 운동조건(형태와 강도)에 따라서 다양한 훈련효과가 나타난다는 점이다(Park et al., 2016c; McLean et al., 2014). Kime et al.(2003)은 8명의 남·녀 사이클 선수에게 크로스오버(crossover) 설계를 바탕으로 15.0%O₂의 평압·저산소 환경에서 3주간, 주 3회, 젓산역치의 강도로 120분의 훈련을 수행하였으나 운동수행능력의 변화가 나타나지 않았으며, 이에 대한 원인으로 저산소 환경에의 노출기간의 부족 및 지속주 형태 훈련을 지적하였다. Ventura et al.(2010)은 12명의 남·녀 사이클 선수에게 12.7%O₂ 환경에서 6주간, 주 3회, 최대운동능력의 73~84%의 훈련을 통해 운동수행능력 향상을 보고하지 못 하였으며, 이를 저산소 환경조건이 너무 강한 것을 원인으로 지목하였다. 또한, Hamlin et al.(2010), McLean et al.(2014), Park et al.(2016a)은 다양한 선행연구의 종합 및 연구결과를 바탕으로, IHT를 통한 긍정적인 결과를 위해서는 저산소 환경조건은 2,000~3,000m(16.5~14.5%O₂), 빈도는 주 당 3회 이상, 기간은 4~6주, 운동은 고강도의 지속주와 인터벌의 복합형태가 바람직하다고 설명하고 있다.

이에 본 연구에서는 위에서 제시된 선행연구의 결과를 바탕으로 대한수영연맹에 소속된 20대 실업팀 수영선수 20명(남자: 10명, 여자: 10명)을 대상으로 6주 동안, 주 3회, 3,000m 상당고도에 해당되는 저압·저산소 환경(526torr)에서 실시하는 유산소성 트레드밀 지속주 운동(80%HRmax, 30분) 및 무산소성 자전거 인터벌 운동(90% HRmax, 2분 운동 및 1분 휴식, 10회)으로 구성된 트레이닝(McLean et al., 2014)이 유산소성 및 무산소성 운동수행능력에 미치는 영향을 검토하여 수영선수의 운동수행능력에 있어서 IHT의 효율성을 검증하고자 한다.

연구방법

연구대상

본 연구의 대상은 최근 6개월 이내에 근·골격계, 내분

비계, 호흡계 질환 경험이 없는 사단법인 대한수영연맹에 소속된 실업수영선수 20명(남자 10명, 여자 10명)을 대상으로 하였으며, 이 대상자들을 평지환경(760torr)에서 6주간 간헐적인 트레이닝을 실시하는 대조군(intermittent normoxic training group; INT group)과 3,000m 상당고도에 해당되는 저압·저산소 환경(526torr)에서 6주간 간헐적인 트레이닝을 실시하는 실험군(intermittent hypoxic group; IHT group)으로 각각 10명씩(남자 5명, 여자 5명) 균등 분할하여 연구를 수행하였다. 이들의 신체적 특징은 <Table 1>과 같으며, 모든 대상자들에게 본 연구의 절차를 충분히 설명하고, 건국대학교 임상시험심사위원회(institutional review board; IRB)의 승인여부(7001355-201510-HR090)를 알린 후 참여의사를 서면으로 제출받았다.

Table 1. Characteristic of study participants

	INT	IHT
Number (N)	10 (5 male, 5 female)	10 (5 male, 5 female)
Environmental condition (torr)	760 (sea-level)	526 (simulated 3,000 m)
Age (years)	22.9±3.9	22.5±2.6
Height (cm)	175.0±9.9	174.6±9.2
Weight (kg)	69.2±12.9	72.7±10.4
Body fat (kg)	20.7±4.0	22.1±4.3

INT: intermittent hypoxic training, IHT: intermittent hypoxic training

연구설계

본 연구의 대상자를 평지환경(760torr)에서 간헐적으로 트레이닝을 실시하는 대조군인 INT 그룹과 3,000m 상당고도의 저압·저산소 환경(526torr)에서 트레이닝을 실시하는 실험군인 IHT 그룹으로 균등 분할한 후 각 대상자가 각자의 트레이닝 환경에서 총 6주간, 주 3회씩 최대심박수(maximal heart rate; HRmax)의 80% 강도에 해당되는 유산소성 트레드밀 지속주 운동 30분과 HRmax의 90%에 해당되는 무산소성 인터벌 자전거 운동(2분 운동, 1분 휴식) 10회를 30분 동안 실시하였다.

사전 및 사후검사는 유산소성 및 무산소성 운동능력을 측정하였으며, 유산소성 운동능력은 자전거 에르고미터(Aerobike 75XL, Combi, Japan)를 이용하여 physical work capacity (PWC) at 75%HRmax, estimated VO₂ at 75%HRmax, estimated VO₂max, exercise time의 측정을 통해 평가하였다.

무산소성 운동능력은 30초 윙게이트 테스트(Wingate test)를 통해 평가되었다. 이를 통해 최대 파워(peak anaerobic power; PK-AnP), 최저 파워(lowest peak anaerobic power; LPk-AnP), 총 파워(total work anaerobic power; TW-AnP), 평균 파워(mean aerobic power; M-AnP), 피로지수(fatigue index; FI) 및 운동직후 혈중젖산농도를 측정하였으며, 각 변인의 값은 윙게이트 테스트 소프트웨어(Velotron Wingate software, version 1.0; Racermate Inc., Seattle, WA)를 통해 계산되었다.

측정항목 및 방법

저압·저산소 환경 조성

본 연구에서의 실험군이 트레이닝을 수행한 3,000m 상당고도의 저압·저산소 환경은 미국 Submersible System Technology가 개발한 20인용 hypobaric hypoxic chamber를 사용하였다. 사전 및 사후 검사와 트레이닝 시 실내 온도 및 습도는 대조군과 실험군 모두에게서 항온항습시스템(Century, Korea)를 이용하여 온도는 23±2℃, 습도는 60±2%로 일정하게 유지되도록 하였다.

신체구성 측정

본 연구에서의 신체구성 검사는 X-Scan plus2 (Jawon Medical, Korea)를 이용하였으며, 대상자에게는 측정 4시간 전부터 금식토록 지도하고 측정 전 소변을 본 후 측정할 수 있도록 교육을 실시하였다.

측정 시 금속성분의 소지품을 모두 제거하고 속옷만 입은 상태로 측정하도록 하였으며, 신체성분검사 결과는 대상자들의 신체적 조건을 고려하여 집단을 균질하게 편성하는데 활용하였다.

유산소성 운동능력 검사

유산소성 운동능력 검사는 자전거 에르고미터 (Aerobike 75XL, Combi, Japan)를 이용하여 운동 부하법으로 측정되었다. 먼저 심박수 감지센서를 컷볼에 부착한 후 각 대상자의 정보(신장, 체중, 연령)를 입력한 다음, 심박수가 안정될 때까지 휴식을 취한 후 운동을 수행하였다. 운동 중 1분 동안 페달수가 50rpm을 유지하는 속도로 페달운동을 실시하였으며, 운동 시 Lamb protocol(15watt/min)에 의해 심박수가 HRmax의 75%(남자: $206-0.69 \times \text{age}$, 여자: $205-0.75 \times \text{age}$)에 도달할 때까지 연속적으로 운동을 수행하였고 이 때 VO_2 및 $\text{VO}_{2\text{max}}$ 는 회귀방정식($\text{VO}_2 = 9.386 \text{ watt} + 289.6$)을 통해 산출되었다(Miyashita et al., 1985).

무산소성 운동능력 검사

무산소성 운동능력 검사는 측정에 대한 신뢰도와 타당도가 높은 방법인 원게이트 테스트(Cycle ergometer, Monak 828E, Sweden)를 통해 이루어졌다. 이를 위해 대상자들이 실험실에 도착하면, 우선 안정을 취했으며, 그 다음 간단한 준비운동을 자전거 에르고미터(Cycle ergometer, Monak 828E, Sweden)에서 실시한 후 대상자의 심박수 및 혈중젖산농도가 안정시 수준으로 회복되어 준비되었다고 판단되면 측정을 실시하였다. 측정 시 대상자가 전력을 다해 페달링을 하기 시작하면 보조자는 대상자의 체중 $\times 0.075\text{kp}$ (7.5%)에 의해 산출된 상대적 운동강도에 맞추어, 대상자가 최대운동에 도달하여 적정부하에 의한 페달링 운동이 이루어지면 시작신호와 함께 30초간 전력을 다해 페달링 운동을 실시하도록 하였다. 분석변인은 최대 파워(peak anaerobic power: PK-AnP), 최저 파워(lowest peak anaerobic power: LPk-AnP), 총 파워(total work anaerobic power: TW-AnP), 평균 파워(mean aerobic power: M-AnP) 및 피로지수(fatigue index: FI)에 해당된다.

혈중젖산농도 검사

혈중 젖산농도의 검사를 위해 자동 혈액젖산분석기 (YSI 1500, USA)를 이용하여 사전 및 사후검사 시 30초 원게이트 테스트(Wingate test) 종료 직후에 손 끝 모세혈관에서 80uL를 capillary tube에 채혈하여

검사를 실시하였다.

자료분석방법

본 연구의 자료분석을 위해 PASW statistics 23.0 프로그램을 사용하였고, 모든 변인의 기술통계량을 산출하였다. 주요 변인의 집단과 측정시기의 상호작용효과와 시기 간, 집단 간에 있어 주효과 검증은 반복이원분산분석(repeated two-way ANOVA)을 적용하였다. 그 후 시기별 차이에 대한 사후분석은 대응표본(paired) t -검정을, 집단 간 차이에 대한 사후분석은 독립표본(independent) t -검정을 수행하였다. 통계적 유의수준은 5% 미만으로 설정하였다.

연구결과

본 연구에서 측정결과에는 나타나지 않았지만, 모든 대상자에게 있어서 연구를 수행하는 6주 동안의 신체활동 수준을 평가했을 때 그룹 간 차이가 나타나지 않았으며, 이에 본 연구의 설계에 대한 연구자 및 대상자의 준수도(compliance와 adherence)는 100%이며, 대상자의 신체적 특징은 <Table 1>에서 보는 바와 같다.

유산소성 운동능력의 변화

본 연구에서 각 환경에서의 INT 그룹과 IHT 그룹의 6주간의 트레이닝에 따른 유산소성 운동능력의 변화를 살펴본 결과, 모든 변인에서 유의한 상호작용효과는 나타나지 않았지만, 시기에 의한 유의한 주효과는 모든 변인에서 나타났다. 이에 각 집단에서 트레이닝에 따른 변화를 관찰하기 위해 사후분석을 실시한 결과, PWC at 75%HRmax, estimated $\text{VO}_{2\text{max}}$, exercise time의 경우, IHT 그룹에서만 트레이닝에 의한 유의한 증가(각각 9.73%, 7.69%, 11.30%)가 나타났으며, estimated VO_2 at 75%HRmax는 INT와 IHT 그룹 모두에서 트레이닝에 의한 유의한 증가가 나타났으며, 증가율은 IHT 그룹에서 보다 큰 경향을 보였다(INT vs IHT = 3.50% vs 6.44%) <Table 2>.

Table 2. Change of aerobic exercise capacity via training in INT and IHT group.

Group		Pre	Post	F-value	
PWC at 75%HRmax (watt)	INT	169.9 ±62.0	178.5 ±58.1	Time	21.521*
	IHT	164.5 ±46.3	180.5 ±46.3#	Group	.004
Estimated VO ₂ at 75%HRmax (mL/kg/min)	INT	34.3 ±4.9	35.5 ±4.0#	Time	22.626*
	IHT	32.6 ±3.7	34.7 ±3.7#	Group	.417
Estimated VO ₂ max (mL/kg/min)	INT	48.4 ±7.2	50.4 ±6.0	Time	26.742*
	IHT	45.5 ±5.5	49.0 ±6.0#	Group	.497
exercise time (second)	INT	814.5 ±126.8	863.9 ±111.7	Time	29.498*
	IHT	815.3 ±91.1	907.4 ±74.3#	Group	.198
				Time	2.692

*: significant interaction or main effect; #: significant difference between pre and post in each group; †: significant difference between INT and IHT group in each time. INT: intermittent hypoxic training, IHT: intermittent hypoxic training, PWC: physical work capacity, HRmax: maximal heart rate, VO₂: maximal oxygen consumption.

무산소성 운동능력의 변화

본 연구에서 각 환경에서의 INT 그룹과 IHT 그룹의 6주간의 트레이닝에 따른 무산소성 운동능력의 변화를 검토한 결과, 원게이트 테스트 직후 혈중젖산농도에서만 유의한 상호작용효과(트레이닝×그룹)가 나타났으며, PK-AnP와 FI에서는 시기에 의한 유의한 주효과가 나타났다. 이에 각 집단에서 트레이닝에 따른 변화를 확인하기 위해 사후분석을 실시한 결과, 원게이트 테스트 직후 혈중젖산농도의 경우, IHT 그룹에서 트레이닝에 의한 유의한 감소(-9.43%)가 나타났으며, 트레이닝 후에 INT 그룹과 비교했을 때, IHT 그룹에서 더 낮은 값을 나타냈다(-14.29%). PK-AnP와 FI의 경우에는 IHT 그룹에서만 트레이닝에 의한 유의한 증가가 나타났다(각각 11.47%, 16.71%) (Table 3).

Table 3. Change of anaerobic exercise capacity via training in INT and IHT group.

Group		Pre	Post	F-value	
PK-AnP	INT	704.8 ±184.6	748.8 ±236.3	Time	8.488*
	IHT	797.4 ±192.5	888.9 ±238.7#	Group	1.236
LPk-AnP	INT	417.3 ±106.4	425.4 ±104.3	Time	1.092
	IHT	452.5 ±85.7	466.4 ±84.5	Group	.665
TW-AnP	INT	16962.7 ±3980.8	16890.7 ±4206.0	Time	1.231
	IHT	17701.4 ±4339.1	18365.8 ±4801.7	Group	.264
M-AnP	INT	565.4 ±132.7	564.1 ±141.2	Time	1.389
	IHT	590.0 ±144.6	612.2 ±160.1	Group	.256
FI	INT	40.3 ±6.8	41.2 ±9.4	Time	6.707*
	IHT	42.5 ±4.1	49.6 ±6.2#	Group	3.034
Lactate after exercise	INT	5.6 ±0.6	5.6 ±0.7	Time	5.237*
	IHT	5.3 ±0.7	4.8 ±0.5#	Group	3.101
				Time	6.932*

*: significant interaction or main effect; #: significant difference between pre and post in each group; †: significant difference between INT and IHT group in each time. INT: intermittent hypoxic training, IHT: intermittent hypoxic training, PK-AnP: peak anaerobic power, LPK-AnP: lowest peak anaerobic power, TW-AnP: total work anaerobic power, M-AnP: mean anaerobic power, FI: fatigue index.

논 의

일반적으로 LHTH 및 LHTL 같은 고전적인 자연적·인공적 고지환경에서의 트레이닝 방법의 경우, 혈액의 산소운반능력 즉, 적혈구생성능력(erythropoiesis) 향상을 통해 유산소성 운동능력을 개선시킨다. 그러나 최

근에 많은 선수들과 코치들은 보다 접근하기 쉽고, 비용 및 시간이 적게 들어 보다 실용적인 방법인 IHT를 많이 활용하고 있는 실정이다(Hamlin et al., 2010; Park et al., 2016a).

현재 많은 연구자들이 스포츠 선수들의 유산소성 운동능력과 관련하여 IHT의 효율성을 검토한 결과, IHT가 고전적인 방법인 LHTH 및 LHTL처럼 적혈구 생성 능력(erythropoiesis)과 관련된 RBC와 Hb의 수, 농도, 질량의 증가를 통해 혈중산소운반능력의 향상을 가져오지 못하지만 산소이용의 효율성을 나타내는 운동의 경제성(exercise economy)의 강화, 베타-아드레날린 수용체(β -adrenoreceptor)에 대한 반응의 민감도 향상에 의한 심장기능의 강화와 이를 통한 조직으로의 혈류량(blood flow) 및 혈액동역학(hemodynamic function) 능력의 증가 등을 유도하여 유산소성 운동능력을 향상시키며(McLean et al., 2014; Park et al., 2016b; Roels et al., 2007), 이외에도 조직에서의 산소이용능력의 향상(Faiss et al., 2013; Galvin et al., 2013), 강화된 무산소성 에너지 공급 능력(Katayama et al., 2004), 혈중젖산에 대한 내성 증가(Hamlin et al., 2010), 산-염기 평형 능력의 개선(Park et al., 2016c) 등에 의해 무산소성 운동능력을 향상시킨다고 보고하고 있다.

그러나 IHT를 통해 유산소성 및 무산소성 운동능력 향상을 위해서는 트레이닝 형태, 양, 방법, 고지 및 저산소 환경 조건, 선수들의 경기력, 식이 및 수분 섭취, 컨디션, 수면의 질과 양 등의 다양한 방법론적인 측면이 선수들에게 고려되어야 한다고 보고하고 있다(McLean et al., 2014; Sinex & Chapman, 2015). 실례로 엘리트 선수를 대상으로 수행한 선행연구의 결과가 이러한 방법론적 차이로 인해 긍정적(Czuba et al., 2013; Mao et al., 2011; Meeuwssen et al., 2001) 또는 부정적(Kime et al., 2003; Ventura et al. 2010)으로 나뉘고 있는 실정이며, 부정적인 연구결과를 보고한 선행연구들은 저산소 환경조건이 3,000 m(14.5%O₂) 이상으로 너무 심하거나(4,000~5,000 m 상당고도) 노출시간이 4주 이하 또는 저산소 환경에서 훈련 시간이 60분 이내로 너무 짧은 것을 지적하였다.

이에 본 연구에서는 선행연구(Hamlin et al., 2010;

McLean et al., 2014; Park et al., 2016a)에서 제안한 기준을 바탕으로 3,000m 저압·저산소 환경(526torr)에서 6주간, 주 3회, 80%HRmax에 해당되는 트레드밀 지속주 운동 30분과 90%HRmax에 해당되는 자전거 인터벌 운동 30분(10회; 2분 운동, 1분 휴식)으로 구성된 트레이닝 수행 전과 후에 남·녀 수영선수의 유산소성 및 무산소성 운동능력에 미치는 영향을 검토하였다. 그러나 본 연구에서는 개인종목이지만 팀 스포츠(team sports) 형태로 훈련을 수행하는 수영선수의 특성 상 하나의 성별이 아닌 남·녀를 혼합한 설계를 활용하여 결과해석에 있어서 제한점을 가지고 있으나, 남·녀를 혼합한 연구설계를 이용하여 저산소 트레이닝을 통한 유산소성 에너지 대사관련 변인과 운동수행능력의 변화를 검토한 Kime et al.(2003), Ponsot et al.(2006), Ventura et al.(2010)등의 연구를 고려하여 본 연구를 수행하였다.

그 결과 우선, 유산소성 운동능력과 관련하여 PWC at 75%HRmax, estimated VO₂max, exercise time의 경우 6주간의 트레이닝에 의해 IHT 그룹에서만 유의한 증가를 나타냈으며, estimated VO₂ at 75%HRmax는 두 그룹 모두 유의한 증가를 나타냈지만, INT 그룹과 비교했을 때, IHT 그룹에서 더 많은 증가 경향을 보였다. 남·녀 혼합 연구설계를 이용한 선행연구와 비교할 때, 본 연구에서는 단순히 지속주 형태의 훈련만을 적용하고 부적절한 저산소 환경 설정으로 인해 부정적인 결과를 보고한 Kime et al.(2003) 및 Ventura et al.(2010) 연구와 달리 다양한 선행연구를 바탕으로 적정한 저산소 환경을 설정하고 인터벌 형태의 운동을 추가하여 Ponsot et al.(2006)와 같이 긍정적인 유산소성 운동능력의 개선을 나타냈다.

이외에도 본 연구에서는 유산소성 운동능력 향상과 관련된 다양한 종속변인의 변화를 검토하지 못하였지만, 선행연구에서 제시한 바와 같이, IHT가 동일강도의 운동 중 사용하는 산소의 양으로 결정되는 운동의 경제성(exercise economy) (Katayama et al., 2004; Park et al., 2016a; Rodriguez et al., 2007), 알파 및 베타-아드레날린수용체(α & β -adrenoreceptor)에 대한 반응의 민감도 향상에 의한 정맥회귀(venous return)와 심장의 수축력 강화(Park et al., 2016b),

골격근 내 산-염기 평형 능력(Park et al., 2016c) 등을 향상시켜 본 연구에서의 대상자인 실업수영선수의 유산소성 운동능력을 향상시킨 것으로 추측되며(Park et al., 2016a; Czuba et al., 2013), 보다 정확한 원인을 규명하기 위해서는 추후 선행연구에서 제시하고 있는 유산소성 운동능력과 관련된 다양한 종속변인의 검토가 필요하다고 생각된다.

무산소성 운동능력의 경우에는, PK-AnP와 원게이트 테스트 직후 혈중젖산농도에 있어 IHT 그룹에서 6주간의 트레이닝에 의한 유의한 개선효과가 나타났으나 원게이트 테스트 중 피로도를 나타내는 FI는 반대로 유의하게 증가하였다. 일반적으로 IHT를 통한 무산소성 운동능력의 향상은 앞에서 서술한 바와 같이 근조직에서의 산소이용능력의 향상(Faiss et al., 2013; Galvin et al., 2013), 해당과정(glycolysis)의 활성화(Puype et al., 2013), 혈중젖산농도의 제거 및 내성능력 강화(Hamlin et al., 2010), 산-염기 평형 능력의 개선(Park et al., 2016c) 등을 통해 나타나게 되는데, 본 연구에서는 IHT를 실시한 연구집단에서 최대파워를 나타내는 PK-AnP와 원게이트 테스트 직후 혈중젖산농도가 개선되는 효과가 나타났으며, 이에 IHT가 무산소성 운동능력 향상에 효과적임을 확인할 수 있었으나 무산소성 운동능력 상관관계가 높은 해당과정 관련 효소의 활성도 및 단백질 발현 정도와 혈액의 산-염기 평형 등을 확인하지 못한 제한점이 존재한다.

또한, IHT를 수행한 연구집단에서 원게이트 테스트 동안의 피로도를 나타내는 FI가 유의하게 상승하였다. 이는 IHT 집단이 트레이닝에 의해 더 높은 PK-AnP의 상승을 나타낸 것과 총 파워와 평균파워를 나타내는 TW-AnP 및 M-AnP가 INT 그룹과 비교했을 때, IHT 그룹에 더 높은 경향을 나타낸 것을 고려하면, 본 연구에서 검토한 종속변인이 부족하여 IHT가 무산소성 운동능력 향상과 관련하여 어떠한 종속변인 및 기전의 개선을 통해 무산소성 운동능력의 향상을 가져오는지 확신할 수 없지만, 고강도 운동 시 골격근 내 발생하는 무산소성 환경에서 다양한 기전을 통해 에너지 공급을 보다 수월하게 만들어 무산소성 운동능력 향상을 가져온다는 것을 예측할 수 있다. 이러한 예상은 INT 그룹과 IHT 그룹을 비교했을 때, IHT 그룹에서 유의하게 더 높은

PK-AnP를 나타냈음에도, 원게이트 테스트 직후 측정된 혈중젖산농도에서 유의한 상호작용효과가 나타나 더 낮은 수치를 나타낸 것을 바탕으로 확인할 수 있다. 그러나 현재 남·녀 혼합 설계를 바탕으로 IHT를 통한 무산소성 운동능력에 대한 검토를 수행한 선행연구가 존재하지 않는 실정에서 본 연구결과에 대한 해석은 좀 더 신중하게 접근할 필요성은 존재한다.

결론 및 제언

본 연구는 20명의 실업수영선수를 대상으로 평지환경에서 트레이닝을 실시하는 INT 그룹(n=10; 남자 5명, 여자 5명)과 3,000 m 저압·저산소 환경에서 트레이닝을 실시하는 IHT 그룹(n=10; 남자 5명, 여자 5명)으로 나눈 후 6주간, 주 3회, 1시간 동안 고강도 유산소성 지속주 트레드밀 및 무산소성 인터벌 자전거 트레이닝을 적용하여 유산소성 및 무산소성 운동능력에 미치는 영향을 검토하였다. 그 결과, IHT는 INT와 비교했을 때, 전반적인 유산소성 운동능력의 향상을 가져오며, 무산소성 운동능력에서도 PK-AnP와 혈중젖산농도의 개선을 가져오는 것을 나타냈다. 본 연구에서는 이러한 유산소성 및 무산소성 운동능력 향상의 해석을 뒷받침할 수 있는 다양한 종속변인의 측정이 이루어지지 않았지만, 이러한 결과는 단거리부터 장거리까지 다양한 경기에 출전하여 유·무산소성 운동능력이 모두 중요한 수영선수에게 있어 간헐적으로 훈련을 실시하는 IHT 방법이 경기력 향상에 있어서 효율적일 수 있다는 것을 보여준다고 사료된다. 추후에는 남자선수와 여자선수의 생리적 차이를 고려한 연구설계와 수영선수 뿐만 아니라 다양한 종목의 선수들을 대상으로 유산소성 및 무산소성 운동능력과 경기력 개선에 미치는 영향 및 저항성 트레이닝을 통한 근 기능 개선에 미치는 효과에 대한 검토 또한 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

Bidleman, B. A., Muza, S. R., Fulco, C. S., Jones, J. E.,

- Lammi, E., Staab, J. E., & Cymerman, A. (2009). *Intermittent hypoxic exposure does not improve endurance performance at altitude. Medicine & Science in Sports & Exercise, 41(6)*, 1317-1325.
- Czuba, M., Zając, A., Maszczyk, A., Rocznik, R., Poprzęcki, S., Garbaciak, W., & Zając, T. (2013). The effects of high intensity interval training in normobaric hypoxia on aerobic capacity in basketball players. *Journal of human kinetics, 39(1)*, 103-114.
- Dufour, S. P., Ponsot, E., Zoll, J., Doutreleau, S., Lonsdorfer-Wolf, E., Geny, B., Lampert, E., Flück, M., Hoppeler, H., Billat, V., Mettauer, B., Richard, R., & Lonsdorfer, J. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. I. Improvement in aerobic performance capacity. *Journal of Applied Physiology, 100(4)*, 1238-1248.
- Faiss, R., Léger, B., Vesin, J. M., Fournier, P. E., Eggel, Y., Dériaz, O., & Millet, G. P. (2013). Significant molecular and systemic adaptations after repeated sprint training in hypoxia. *PLoS One, 8(2)*, e56522.
- Galvin, H. M., Cooke, K., Summers, D. P., Mileva, K. N., & Bowtell, J. L. (2013). Repeated sprint training in normobaric hypoxia. *British Journal of Sports Medicine, 47(Suppl 1)*, i74-i79.
- Hamlin, M. J., Marshall, H. C., Hellemans, J., Ainslie, P. N., & Anglem, N. (2010). Effect of intermittent hypoxic training on 20 km time trial and 30 s anaerobic performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 20(4)*, 651-661.
- Hendriksen, I. J., & Meeuwsen, T. (2003). The effect of intermittent training in hypobaric hypoxia on sea-level exercise: a cross-over study in humans. *European Journal of Applied Physiology, 88(4-5)*, 396-403.
- Katayama, K., Sato, K., Matsuo, H., Ishida, K., Iwasaki, K. I., & Miyamura, M. (2004). Effect of intermittent hypoxia on oxygen uptake during submaximal exercise in endurance athletes. *European Journal of Applied Physiology, 92(1-2)*, 75-83.
- Kime, R., Karlsen, T., Nioka, S., Lech, G., Madsen, Ø., Sæterdal, R., Im, J., Chance, B., & Stray-Gundersen, J. (2003). Discrepancy between cardiorespiratory system and skeletal muscle in elite cyclists after hypoxic training. *Dynamic Medicine, 2(1)*, 4.
- Mao, T. Y., Fu, L. L., & Wang, J. S. (2011). Hypoxic exercise training causes erythrocyte senescence and rheological dysfunction by depressed Gardos channel activity. *Journal of Applied Physiology, 111(2)*, 382-391.
- McLean, B. D., Gore, C. J., & Kemp, J. (2014). Application of 'Live Low- Train High' for enhancing normoxic exercise performance in team sport athletes. *Sports Medicine, 44(9)*, 1275-1287.
- Meeuwsen, T., Hendriksen, I. J., & Holewijn, M. (2001). Training-induced increases in sea-level performance are enhanced by acute intermittent hypobaric hypoxia. *European Journal of Applied Physiology, 84(4)*: 283-290.
- Miyashita, M., Mutoh, Y., Yoshika, Y., & Sadamoto, T. (1985). Effects of physical training. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 17*, 3-5.
- Park, H., Hwang, H., Park, J., Lee S., & Lim, K. (2016a). The effects of altitude/hypoxic training on oxygen delivery capacity of the blood and aerobic exercise capacity in elite athletes – a meta analysis. *Journal of Exercise Nutrition & Biochemistry, 20(1)*, 15-22.
- Park, H. Y., Nam, S. S., Tanaka, H., & Lee, D. J. (2016b). Hemodynamic, Hematological, and Hormonal Responses to Submaximal Exercise in Normobaric Hypoxia in Pubescent Girls. *Pediatric Exercise Science, 28(3)*, 417-422.
- Park, H. Y., Sunoo, S., & Nam, S. S. (2016c). The effect of 4 weeks fixed and mixed intermittent hypoxic training (IHT) on respiratory metabolic and acid-base response of capillary blood during submaximal bicycle exercise in male elite Taekwondo players. *Journal of Exercise Nutrition & Biochemistry, 20(4)*, 35-43.
- Ponsot, E., Dufour, S. P., Zoll, J., Doutreleau, S., N'Guessan, B., Geny, B., Hoppeler, H., Lampert, E., Mettauer, B., Ventura-Clapier, R., & Richard, R. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. II. Improvement of mitochondrial properties in skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology, 100(4)*, 1249-1257.
- Puype, J., Van Proeyen, K., Raymackers, J. M., Deldicque, L., & Hespel, P. (2013). Sprint interval training in hypoxia stimulates glycolytic enzyme activity. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 45(11)*, 2166-2174.
- Rodriguez, F. A., Truijens, M. J., Townsend, N. E., Stray-Gundersen, J., Gore, C. J., & Levine, B. D. (2007). Performance of runners and swimmers after four weeks of intermittent hypobaric hypoxic exposure plus sea level training. *Journal of Applied Physiology, 103(5)*, 1523-1535.
- Roels, B., Bentley, D. J., Coste, O., Mercier, J., & Millet, G. P.

- (2007). Effects of intermittent hypoxic training on cycling performance in well-trained athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 101(3), 359-368.
- Schmutz, S., Dapp, C., Wittwer, M., Durieux, A. C., Mueller, M., Weinstein, F., Vogt, M., Hoppeler, H., & Flück, M. (2010). A hypoxia complement differentiates the muscle response to endurance exercise. *Experimental physiology*, 95(6), 723-735.
- Sinex, J. A., & Chapman, R. F. (2015). Hypoxic training methods for improving endurance exercise performance. *Journal of Sport and Health Science*, 4(4), 325-332.

3,000 m 저압·저산소 환경에서 6주간의 고강도 유산소성 지속주 및 무산소성 인터벌 트레이닝이 수영선수의 유산소성 및 무산소성 운동능력에 미치는 영향

박훈영(건국대학교 PAP 연구소), 임기원(건국대학교 PAP 연구소 및 체육교육과)

[목적] 본 연구는 실업수영선수를 대상으로 3,000 m 상당고도의 저압·저산소 환경에서 6주간의 간헐적인 트레이닝이 유산소성 및 무산소성 운동능력에 미치는 효율성을 검토하기 위한 목적으로 수행되었다. **[방법]** 연구를 수행하기 위해 실업수영선수 20명을 평지환경에서 트레이닝을 수행하는 INT(intermittent normoxic training) 그룹 10명과 IHT(intermittent hypoxic training) 그룹 10명으로 나눈 후 각자의 환경조건에서 6주간, 주 3회, 1시간 동안 80%HRmax(maximal heart rate)에 해당되는 유산소성 지속주 트레이닝 운동(30분)과 90%HRmax에 해당되는 강도로 무산소성 인터벌 자전거 운동(총 10회; 2분 운동과 1분 휴식으로 구성) 30분을 수행하였다. **[결과]** 그 결과, 유산소성 운동능력의 경우, PWC at 75%HRmax, estimated VO₂max, exercise time에 있어서 IHT 그룹에서만 트레이닝에 의한 유의한 증가가 나타났으며, estimated VO₂ at 75%HRmax는 INT와 IHT 그룹 모두에서 트레이닝에 의한 유의한 증가가 나타났으나, 증가율은 IHT 그룹에서 보다 큰 경향을 보였다. 무산소성 운동능력에서는 경우에는 PK-AnP(peak anaerobic power)와 FI(fatigue index)에서 IHT 그룹에서만 트레이닝에 의한 유의한 증가가 나타났다. 원게이트 테스트 직후 혈중젖산농도의 경우, IHT 그룹에서 트레이닝에 의한 유의한 증가가 나타났으며, 트레이닝 후에 INT 그룹과 비교했을 때, IHT 그룹에서 더 낮은 값을 나타냈다. **[결론]** 본 연구에서는 이러한 유산소성 및 무산소성 운동능력 향상의 해석을 뒷받침할 수 있는 다양한 종속변인의 측정이 이루어지지 않았지만, 이러한 결과는 단거리부터 장거리까지 다양한 경기에 출전하여 유·무산소성 운동능력이 모두 중요한 수영선수에게 있어 간헐적으로 훈련을 실시하는 IHT 방법이 경기력 향상에 있어서 효율적일 수 있다는 것을 보여준다고 사료된다.

주요어: 간헐적 저산소 트레이닝, 유산소성 운동능력, 무산소성 운동능력, 수영선수