



Original Article

# Comparison of Heart Rate, Ventilation, Maximal Oxygen Uptake, Lactate Level, and Recovery Rate During Two Types of Walking Graded Exercise Testing in Elite Race Walkers

Bong-Ju Sung<sup>1</sup>, Min-Ho Lee<sup>2</sup> and Kwang-Kyu Lee<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of Sport Science (KISS)

<sup>2</sup>Gyeonggido Association of Athletics Federations

<sup>3</sup>Chung-cheong University

## Article Info

Received 2023.02.02.

Revised 2023.06.15.

Accepted 2023.06.23.

## Correspondence\*

Kwang-Kyu Lee

kwangkyu78@hanmail.net

## Key Words

Race walker,

Graded exercise test,

Physiological factor

**PURPOSE** The purpose of this study was to identify a sport-specific assessment for elite race walking athletes by comparing physiological responses to different types of walking graded exercise test (GTX) protocols. **METHODS** Six elite race walking athletes completed two types of walking protocols in a randomized cross-over design with 1 week of interval between trials. Exercise time, oxygen uptake (VO<sub>2</sub>), ventilation (VE), and heart rate (HR) were measured in each trial; the lactate level was measured during the recovery period. **RESULTS** VO<sub>2</sub>, VE, and HR differed significantly between the trials ( $p < .01 \sim .05$ ). Exercise time ( $p < .01$ ) and VO<sub>2</sub> ( $p < .05$ ) differed significantly between the walking protocols; however, VE and HR did not differ significantly. During the recovery period, lactate levels differed significantly between the trials ( $p < .01$ ), but not the walking protocol. **CONCLUSIONS** These results suggest that modified walking GTX protocols were appropriate to assess elite race walking athletes.

## 서론

스포츠 현장에서는 선수들의 체력 평가 및 경기력 향상을 위한 훈련 구성의 일환으로 다양한 측정이 실시되고 있으며, 이는 꿈나무 선수와 같이 초기 엘리트선수의 육성을 위한 평가 자료로 활용되고 있다(Haff & Triplett, 2015). 이러한 측정은 분류 기준에 따라 체구성, 최대근력, 근지구력, 파워 및 심폐지구력 등으로 나누고 있으며(Bompa, 1999; Fleck & Kraemer, 2003), 특히 대부분의 스포츠 종목에서 전신 체력을 검사하기 위해 채택되고 있는 심폐지구력은 생리학적으로 최대산소섭취량(maximal oxygen uptake, VO<sub>2</sub>max) 및 젖산, 심박수를 기초로 평가가 이루어지고 있다(Bayles & Swank, 2018; Cerezuela-Espejo et al., 2018). 최대산소섭취량 및 젖산은 심폐 기능 및 체력을 평가하기 위한 “gold standard”로 알려져 있으며, 스포츠 현장에서는 가장 중요하게 다루어야 할 평가 변인으로 분류되어져 왔다(Cerezuela-Espejo et al.,

2018). Pallarés et al.(2016)은 심혈관 기능을 평가하기 위해서는 반드시 두 변인에 대한 측정이 이루어져야 하며, 특히 최대산소섭취량은 피험자의 상태를 확인하는 동시에, 처치에 의한 변화를 관찰하는 근거자료로 사용될 수 있는 것으로 제시하고 있다. 이와 더불어 젖산은 무산소성 대사과정 시 에너지 생산과 소비의 불균형에서 나타나는 부산물로 Beltz et al.(2016)의 연구에서는 최대산소섭취량과 동일하게 젖산의 평가가 피험자 및 선수들의 체력 수준을 확인하는 변인이며 이에 따른 훈련 프로그램 구성 시 기초자료로 활용될 것으로 보고하였다. 심박수 또한 전문화된 두 변인과 마찬가지로 체력 평가 시 활용되는 주요 변인으로 운동 강도의 증가와 함께 선형적으로 증가되며 교감신경에 의해 흥분되고 부교감신경에 의해 박동의 감소가 나타나게 된다(Jung, 2011). Bayles & Swank(2018)는 운동강도에 따른 변화 양상을 확인하기 위한 가장 손쉬운 방법으로 심박수를 제시하였으며, 운동 중뿐만 아니라 운동 종료 후에도 회복기의 변화를 확인할 수 있어 많은 실험연구에서 기본적으로 관찰하는 생리학적으로 변인으로 거론 되어왔다(ACSM, 2021). 이렇듯 체력 수준과 기능 평가를 위해 최대산소섭취량 및 젖산, 심박수가 활용됨을 알 수 있으며, 스포츠 현장에서는 두 변인에 대한 측정 및 변화 관찰이 선수의 체력 개선에 중요한 지표임을 알 수 있다.

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

운동부하검사(graded exercise test, GXT)는 최대산소섭취량 및 젖산, 심박수 변화에 대한 신뢰도 및 타당도가 확보된 측정 방법으로, 운동강도와 심혈관계, 근-골격계, 신경계의 통합적 관계를 규명하고 피험자의 체력 수준 및 기능 평가를 확인하기 위해 임상과 스포츠 분야에서 빈번하게 활용되고 있다(Amaro-Gahete et al., 2019; Beltz et al., 2016). 측정은 시간이 경과함에 따라 운동강도를 선형적으로 증가시키는 점증부하 방식으로 이루어지며, 이때 체내에서 발생하는 산소 이용률의 생리학적 변화를 기록하여 최대산소섭취량 및 젖산, 심박수와 같은 변인의 변화를 평가하게 된다. Bellar & Judge(2016)는 호기 시 발생하는 산소와 이산화탄소의 변화를 기초로 산소섭취량과 운동강도의 유동적 관계를 규명하고 대사적 요인들의 변화를 관찰하기 위해 운동부하검사를 실시하며, Papadakis et al.(2022)은 에너지 대사의 변화를 관찰하고 이를 개선하기 위한 훈련 방법의 근거자료로 활용하기 위해 운동부하검사를 활용하는 것으로 제시하고 있다. 운동부하검사는 극한의 유산소적 에너지 대사가 요구되는 스포츠 종목에서 심폐지구력을 검사하기 위한 방법으로써 전술된 것과 같이 생리학적 변인을 확인하기 위한 측정 방법으로 타당한 검사임을 알 수 있다.

경보는 고강도 유산소성 대사가 요구되는 스포츠 종목으로 주행 중 반드시 한쪽 발이 지면에 접지되어야 하며, 접지된 다리의 슬관절이 곧게 펴져 있어야 빠른 주행속도를 유지할 수 있게 된다(Hanley et al., 2008). 주행거리는 국제대회의 경우 남녀 모두 20km 경보경기가 진행되며, 남자 50km 경보는 육상 종목에서 가장 긴 경기로 기록되어 있다(Hoga et al., 2003). Hanley(2013)는 경기 시 참여 인원의 절반이 중도탈락 될 만큼 체력 소모가 많은 종목으로 선수 개인의 정확한 체력 수준에 대한 평가가 사전에 이루어져야 함을 강조하였다. Bompa(1999)는 고강도 체력이 요구되는 종목일수록 정확한 체력 측정 및 평가가 요구되며, 이를 기초로 훈련 프로그램이 구성되어야 경기력 개선을 기대할 수 있을 것으로 보고하였다. 현재까지 활발하게 사용되고 있는 심폐지구력 측정으로는 안페르고미터, 사이클 에르고미터, 트레드밀이 대표적이며, 종목 특성을 고려한다면 트레드밀 측정이 가장 적절한 것으로 여겨진다. 그러나 트레드밀에서 실시되는 측정은 강도가 증가됨에 따라 필연적으로 양발이 지면에서 떨어지는 달리기 형태의 측정이 이루어지며, 경보는 한 쪽 발이 접지된 상태에서 걷기 형태로 측정이 이루어지는 만큼 달리기와 상이한 역학적 패턴이 발생되어 결과의 타당성 및 신뢰성 확보에 어려움이 존재하게 된다.

그러므로 본 연구는 현재 국내 국가대표 경보선수에게 적용되고 있는 운동부하검사 프로토콜과 선행연구를 기초로 변형·고안된 걷

기 형태의 프로토콜을 비교하여 동일한 선수에게서 나타나는 생리학적 반응을 관찰함으로써 종목 특성에 맞는 운동부하검사 방법을 비교 제시하는데 그 목적이 있다.

## 연구방법

### 연구대상

본 연구는 5년 이상의 선수 경력을 보유한 국가대표 출신 남자 경보 선수로 구성되었다. 측정에 앞서 모든 참가자들을 대상으로 연구 목적과 절차에 대해 설명하였으며, 실험에 참여하는 선수들을 대상으로 참가동의서를 받았다. 총 참가인원은 6명이었으며, 선수들의 신체적 특징은 <Table 1>과 같다.

### 연구절차

본 연구는 국가대표 경보선수를 대상으로 다른 형태의 운동부하 검사를 적용한 후 나타나는 신체적 반응을 비교·관찰하였다. Batterham & Atkinson(2005)은 단일집단의 반복측정(repeated measures) 또는 교차(cross-over designs)연구가 두 처치집단 또는 대조군을 비교한 연구설계보다 높은 통계적 검증력이 있음을 제시하였으며, 참가자가 5명 이상일 때 90% 이상의 검증력이 있는 것으로 보고하였다(Batterham & Atkinson, 2005). 그러므로 본 연구에서는 다른 형태의 운동부하검사를 적용 시 나타날 수 있는 신체적 변화를 관찰하기 위해 국가대표 남자경보선수의 단일집단을 대상으로 실험을 진행하였다. 검사는 1주일 간격으로 실시하였고 측정 전 날은 오전 훈련만 하였으며, 오후에는 개인 활동을 최대한 제한할 수 있도록 통제하였다. 2차 측정이 있기 전 1주일의 평상시와 동일하게 훈련하였으나 검사 전 날은 오전 훈련만 진행하였다. 검사 전 참가자들에게 측정에 대한 주의사항을 전달하였고 준비운동은 선수들이 평소 실시하는 가벼운 조깅 및 스트레칭을 10~15분 실시시켰다. 실험참가자의 참여순서는 무작위로 배정하기 위하여 제비뽑기를 실시하였다. 신체적 변화를 관찰하기 위한 변인으로 산소섭취량(oxygen consumption,  $VO_2$ ), 심박수(heart rate, HR), 환기량(ventilation, VE), 젖산(lactic acid, LA)을 측정하였다.

### 신체구성

신체조성은 체성분 분석기(Inbody 720, Inbody, Korea)를 이용하여 체중(kg), 근육량(kg) 및 체지방률(%)을 측정하였으며, 신장은 자동신장측정장비(BSM330, Biospace, Korea)로 측정하였다. 측정 전 날 과도한 훈련 및 신체활동을 금지시켰으며, 숙면에 방해가 되는 블루라이트 관련 기기들의 사용을 자제시켰다. 검사 전 24시간 동안 정규식 이외의 자극적인 음식과 음료를 제한하였으며, 측정 전 6~7시간 동안 금식상태를 유지하였다. 측정 1시간 전부터 약간의 수분을 허용하였으며, 측정을 대비한 준비운동 전까지 일체의 신체활동을 제한하였다.

### 연구방법 및 장비

본 연구에서는 현재까지 국가대표 지구력 선수들의 심폐지구

**Table 1.** Characteristic subjects

Subjects	Age (years)	Career (years)	Height (cm)	Weight (kg)	SMR (%)	Fat (%)
A	34	14	172.0	67.8	46.6	17.7
B	33	19	176.9	61.0	50.4	11.2
C	25	9	185.0	74.3	52	9.2
D	24	15	176.2	66.0	48.8	14.3
E	20	6	177.6	62.0	51.6	9.0
F	21	6	174.7	57.0	54.0	4.0
Mean	26.2	11.5	177.1	64.7	50.6	10.9
±SD	±5.98	±5.32	±4.37	±6.06	±2.60	±4.73

※ SMR: Skeletal Muscle Ratio, SD: Standard Deviation

력을 관찰하기 위한 방법으로 실시되고 있는 KISS Running Protocol(KRP)과 경보종목 특성을 고려하여 개발된 KISS Walking Protocol(KWP)을 이용하여 두 프로그램 모두 올라올 때 까지 걷기로 만 진행하였다. KRP는 한국스포츠정책과학원에서 개발된 전통적인 심폐지구력 검사 방법으로(Ko et al., 2016) 경사도를 고정(남 6%, 여 5%)하고 2분마다 속도를 올리는 방법으로 진행하였다. KWP는 국가대표 경보 지도자(3명)와 K연구원 소속의 연구위원(2명)이 선행연구와 의견을 기초로 K연구원에서 프로그램화되었다(Amaro-Gahete, Jurado-Fasoli et al., 2019; Amaro-Gahete, Sanchez-Delgado et al., 2019; Beltz et al., 2016; Yoshida et al., 1990). KWP의 경우, Costill et al.(1977)은 선수들의 에너지 대사가 젖산역치 지점 또는 유-무산소성 경계에 도달되는 시간이 운동 시작 5~6분 후로 제시하였기에 초기 속도 변화를 신속하게 설정하였다. Pavei & La Torre(2016)은 경보 선수들의 주행 속도는 평균 14~15km/h이기 때문에 측정 중 유사 속도 도달 시부터 생리적 변화를 관찰할 수 있도록 현재 트레드밀 운동부하검사에서 부하 상승에 대한 시간 간격이 가장 긴 3분으로 배정하였다(ACSM, 2006). 선행연구에서도 선수들의 운동부하검사 시 부하 변화에 따른 심박수 및 최대산소섭취량이 항정상태를 도달하기까지 2~3분간 소요되는 것으로 제시하고 있다(ACSM, 2021; Bayles & Swank, 2018; Thompson, 2019). 또한 종목 특성상 경보 선수들은 평지를 걷기 때문에 고관절 및 슬관절의 각도를 최대한 제한시키며 걸어야 하는 만큼 각도를 배제시키고 속도만을 이용하여 운동 강도를 증가시켰다(Hanley et al., 2008). 관련 구성은 <Figure 1>과 같다. 검사 중단 조건은 두 측정 모두 선수들이 더 이상 측정을 진행할 수 없는 완전탈진(all-out)상태가 되거나 운동자각도(rating of perceived exertion, RPE)가 19~20일 경우, 종목 특성상 양말이 지면에서 떨어지게 되면 측정을 중지시켰다(Sung et al., 2022). 측정 장비는 운동부하검사를 진행하기 위해 트레드밀(COSMED T170 DE, COSMED, Italy)을 사용하였으며, 호흡변인을 측정하기 위해 가스분석기(Quark CPET, COSMED, Italy)를 활용하여 환기량(ventilation, VE) 및 산소섭취량( $VO_2$ )을 관찰하였다. 심박수 측정은 무선심박수측정기(FT2, Polar, Finland)를 이용하여 측정하였다. 환기량, 심박수, 최대산소섭취량은 휴식기를 포함하여 올라웃, 직후 1, 2, 3, 4, 5분 총 7회를 채취하여 비교·분석 하였으며, 젖산은 휴식기, 올라웃, 직후 3, 5, 15, 30분 총 6회를 채취하였다(Sung et al., 2022).

자료 분석

본 연구의 모든 자료는 IBM SPSS Statistics 25.0을 이용하여 평균 및 표준편차를 산출하였다. 두 가지 걷기 형태의 운동부하검사에서 측정된 결과는 집단별로 비교·분석하였으며, 처치에 따른 차이는 표본의 수가 적어 정규성 만족의 어려움으로 인하여 Mann-Whitney U 검증을 실시하였다. 시점 간 차이 검증은 반복측정 분산분석(repeated-measure ANOVA)을 실시하였으며, 사후 검증은 polynomial 검사를 통하여 변화 양상을 관찰하였다. 모든 통계적 유의수준은  $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

연구 결과

GXT프로토콜 방법 간 운동시간, 환기량, 심박수, 산소섭취량 및 회복률 비교

두 가지 형태의 걷기 운동부하검사가 진행된 시간은 KRP의 경우 955.5±51.29초, KWP는 1057.8±20.05초였으며, 통계적 유의차가 있는 것으로 나타났다( $Z: -2.887, p<.01$ ). 환기량, 심박수 및 산소섭취량의 요인별 변화는 Table 2와 같다. 환기량의 경우 처치에 따른 안정시의 통계적 유의차가 없었으며, 이후 회복기에도 유의차가 없는 것으로 나타났다. 환기량의 시점 간 차이는 통계적 유의차가 있는 것으로 나타났으며( $p\leq.01\sim.05$ ), 이는 Figure 2에 제시하였다. 심박수의 경우 두 처치의 통계적 유의차는 없는 것으로 나타났다. 심박수의 사전 기록과 회복을 비교한 시점 간 차이에서는 통계적 유의차가 있는 것으로 나타났으며( $p\leq.01\sim.05$ ), 이는 Figure 3에 제시하였다.

최대산소섭취량의 경우 안정시 통계적 유의차는 없는것으로 나타났으며, 운동 종료 후 산소섭취량에서는 운동 종료 직후와 1분 후에서 통계적 유의차가 있는 것으로 나타났다( $p<.05$ ). 시점 간 차이는 있는 것으로 나타났으며( $p\leq.01\sim.05$ ), 이는 Figure 4에 제시하였다.

GXT프로토콜 방법 간 젖산회복률 비교

두 가지 다른 형태의 걷기 운동부하검사 중 나타난 젖산 변화는 Table 3에 제시하였다. 통계 결과 운동 종료 후 젖산의 변화에서 처

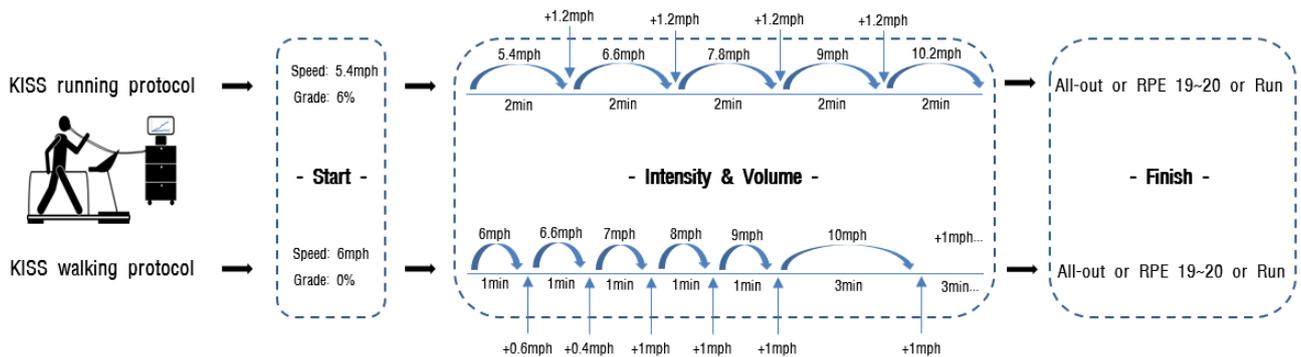
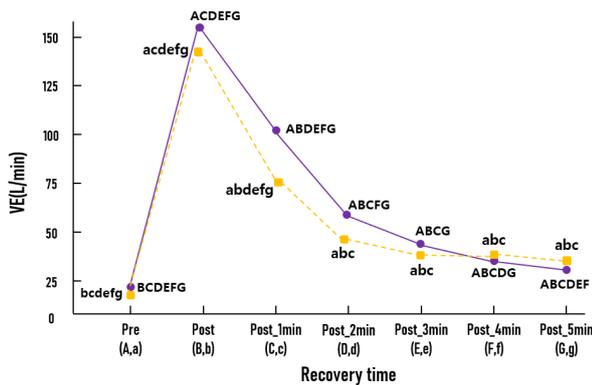


Fig. 1. Test protocol

**Table 2.** The comparison of VE, HR, VO<sub>2</sub> on each graded exercise test between KRP and KWP

Variable	Time	Rest						
		Rest	All-out	P_1min	P_2min	P_3min	P_4min	P_5min
Time (sec)	KRP	-	955.5±51.29	-	-	-	-	-
	KWP	-	1057.8±20.05	-	-	-	-	-
	Z (p)	-	-2.887 (.004)	-	-	-	-	-
VE (L/min)	KRP	9.1±2.10	150.5±17.40	92.5±16.39	55.3±8.03	44.6±4.04	37.2±2.79	31.5±2.50
	RR			41%	67.3%	74.9%	80.1%	84.2%
	KWP	9.3±1.48	139.8±17.12	75.8±12.78	47.1±8.51	39.1±6.74	39.3±6.61	35.2±6.93
	RR			49%	71%	77.2%	77%	80.2%
	Z (p)	-1.161 (.872)	-1.121 (.262)	-1.922 (.055)	-1.761 (.078)	-1.441 (.150)	-1.121 (.262)	-0.801 (.423)
HR (bpm)	KRP	53.0±2.83	182.3±5.37	151.8±15.27	117.8±10.59	102.8±7.74	91.8±5.60	88.4±5.54
	RR			23.6%	49.9%	61.5%	70%	72.6%
	KWP	53.7±4.03	186.8±8.69	139.7±16.72	113.8±11.33	101.7±12.34	99.7±10.51	96.8±10.38
	RR			35.4%	54.8%	63.9%	65.4%	67.6%
	Z (p)	-0.483 (.629)	-0.884 (.377)	-1.121 (.262)	-0.722 (.470)	-0.160 (.873)	-1.283 (.199)	-1.363 (.173)
VO <sub>2</sub> (mL/kg/min)	KRP	6.7±0.63	59.4±4.09	30.0±3.51	15.6±1.27	12.3±1.29	10.4±0.56	9.2±0.31
	RR			55.8%	83.1%	89.4%	93%	95.3%
	KWP	6.6±0.25	63.9±3.50	25.1±1.58	14.2±1.85	12.0±2.18	11.7±0.52	10.2±1.46
	RR			67.7%	86.7%	90.6%	91.1%	93.7%
	Z (p)	-0.161 (.872)	-2.082 (.037)	-2.567 (.010)	-1.761 (.078)	-0.320 (.749)	-1.845 (.065)	-0.962 (.336)

※ KRP: KISS running protocol, KWP: KISS walking protocol, VE: ventilation, HR: heart rate, VO<sub>2</sub>: oxygen consumption, RR: recovery rate

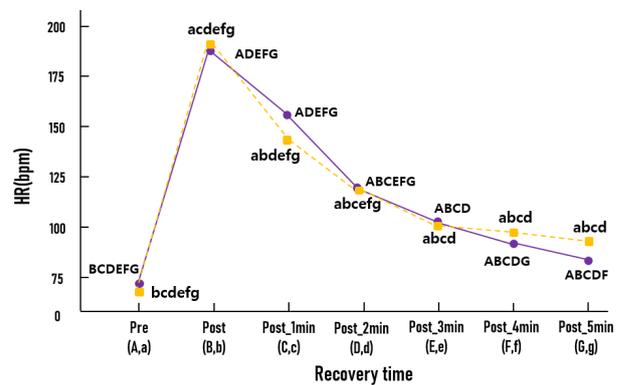


**Fig. 2.** The change on VE for KRP and KWP during each times. Upper case (solid line) is the change value in KRP ( $p < .01 \sim .05$ ). Lower case (dotted line) is the change value in KWP ( $p < .01 \sim .05$ ).

치에 따른 차이는 없었지만, 시점 간 차이는 있는 것으로 나타났으며 ( $p < .01$ ), 이는 Figure 5에 제시하였다.

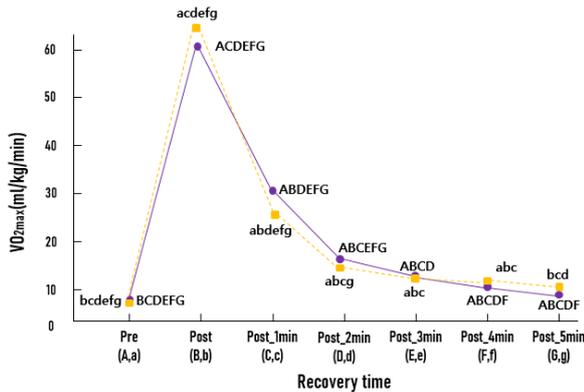
### 논의

운동부하검사는 선수들의 체력 평가 및 경기력 변화를 관찰할 수 있는 대표적인 심폐체력측정방법으로 인체에서 나타나는 다양한

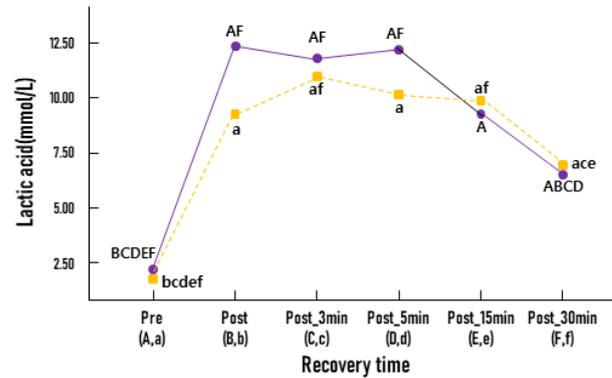


**Fig. 3.** The change on HR for KRP and KWP during each times. Upper case (solid line) is the change value in KRP ( $p < .01 \sim .05$ ). Lower case (dotted line) is the change value in KWP ( $p < .01 \sim .05$ ).

생리학적 변인들의 유동적 변화를 수치화하여 기록·검토할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 모든 스포츠에는 종목의 특이성이 존재하며 이를 배제한 채 획일적인 측정만 고수하게 된다면 정확한 체력 측정뿐만 아니라 훈련 프로그램에 구성 및 효과 검증을 위한 데이터 구축에도 어려움이 있을 것이다. 그러므로 본 연구는 경보 종목의 특이성이 고려된 운동부하검사 방법인 KWP의 효과 검증을 위해 기존에 적용된 KRP와 비교하여 나타나는 생리학적 변인들의 변화를 비교·분석하였다.



**Fig. 4.** The change on VO<sub>2</sub>max for KRP and KWP during each times. Upper case (solid line) is the change value in KRP ( $p < .01 \sim .05$ ). Lower case (dotted line) is the change value in KWP ( $p < .01 \sim .05$ ).



**Fig. 5.** The change on Lactic acid for KRP and KWP during each times.. Upper case (solid line) is the change value in KRP ( $p < .01 \sim .05$ ). Lower case (dotted line) is the change value in KWP ( $p < .01 \sim .05$ ).

**Table 3.** The comparison of lactic acid pre & post on each graded exercise test between KRP and KWP

Test variable	Rest	All-out	P_3min	P_5min	P_15min	P_30min
Lactic acid (mmol/L)						
RR	2.3±0.30	13.1±1.90	13.1±2.59	11.7±2.01	10.2±2.35	6.6±0.77
KRP			0%	13%	26.9%	60.9%
RR	2.0±0.49	10.1±2.89	10.5±1.50	10.1±1.47	9.6±1.27	7.0±1.06
KWP			-5%	0%	6.2%	38.3%
Z(p)	-.961 (.337)	-1.922 (.055)	-1.121 (.262)	-1.761 (.078)	-.320 (.749)	-.320 (.749)

※ La: lactic acid, p: post, KRP: KISS running protocol, KWP: KISS walking protocol, RR: recovery rate

**걷기 형태별 운동부하검사 중 운동시간, 심박수, 환기량 및 산소섭취량 비교**

두 가지 걷기 형태의 운동부하검사에서 KWP 처치가 KRP 처치보다 운동시간( $p < .01$ )과 최대산소섭취량( $p < .05$ )에서 유의하게 높은 결과가 있는 것으로 나타났다. 운동시간의 경우 KWP 처치가 초반 6분까지 1분 단위로 속도가 증가되면서 부하가 높아졌지만 이후 3분 단위로 증가되면서 부하는 KRP 보다 낮게 증가되었다. 또한 10mph의 속도에 도달하는 시점은 KWP는 5분 뒤, KRP는 8분 뒤인 것으로 나타났으며, 두 처치의 운동강도가 역전 현상이 나타나는 곳은 14분 지점인 것으로 나타났다. 이는 초반에 KWP 처치의 부하가 빠르게 증가되면서 강도가 높아지는 것으로 보이지만 14분 지점부터 KRP의 부하가 높아져 KRP 처치는 평균 16분 시점(부하 13.8mph)에서 KWP 처치는 17분 30초(부하 약 13mph)에서 운동이 종료되었다. 결국 운동시간의 통계적 유의차는 시간당 증가되는 부하의 차이로 인한 것임을 알 수 있다.

심박수 및 환기량의 경우 처치 간 유의차는 나타나지 않았지만, 시점 간 차이는 있는 것으로 나타났다. 운동부하검사는 유·무산소성 에너지 대사의 지속 능력을 확인하기 위한 방법으로 심박수 또는 환기량과 같은 생리학적 변인들을 최대치까지 올린 후 나타나는 변화를 관찰하게 된다. 운동 종료 후 인체는 항상성(homeostasis)의 원리에 따라 대사적 체계를 정상 수준으로 돌려려 하는데, 이때 영향을 받는 변인으로는 심박수, 호흡수, 체온, 호흡변인, 혈압 등이 이에 속하게 된다(ACSM, 2021; Bayles & Swank, 2018). 결국 두 변인 모두 시점 간 통계적 유의차가 나타나게 된 것은 인체가 생

리적으로 정상 범위로 돌아가기 위한 회귀 반응에서 나타난 결과임을 알 수 있다.

최대산소섭취량은 운동 중 인체에서 나타나는 생리적 변화를 수치화하여 평가할 수 있는 대표적인 지표로써 흡기와 호기 시 발생하는 가스의 농도차로 결정된다(Beltz et al., 2016; Tipton, 2014). 특히 최대산소섭취량은 운동강도의 증가에 따라 지속적으로 높아지며, 일정강도 이상이 되면 고원상태가 되어 선수들의 피로내성 능력 및 전신 체력을 평가하는데 도움이 된다(Léger et al., 1988). KWP 처치는 KRP의 최대산소섭취량과 비교하여 7%가 높은 것으로 나타났다. Greiwe & Kohrt(2000)의 연구에서는 걷기 시 시간당 8km의 속도에서는 에너지 효율성이 감소되는 것으로 보고하였으며, Day et al.(2003)의 연구에서는 260m/min의 속도 이상에서는 산소 호흡량의 절대적인 변화는 나타나지 않는 것으로 보고하였다. 본 연구에서는 선행연구에서 제시하는 것과 같이 에너지 효율성에 영향을 받는 운동 강도 이상으로 진행되었으며, 산소 호흡량이 최대가 되는 지점까지 운동이 실시되었다. 전·후반 모두 일정하게 운동강도가 증가되는 KRP 처치에서는 국부 피로로 인한 산화적 인산화 과정의 adenosine triphosphate(ATP) 생산에 어려움이 발생하여 최대산소섭취량 도달 전 운동이 종료된 것으로 여겨지며(Powers et al., 2020), 반대로 후반부에 운동량은 증가하는 반면 상대적으로 운동강도가 낮았던 KWP 처치는 에너지 대사면에서 더 효율적으로 운동을 지속할 수 있었기에 높은 산소섭취량을 기대할 수 있었다. 그러므로 심폐체력 측정 시 선수 개개인의 정확한 산소섭취량의 평가를 위해서는 KWP 처치가 더 효과적일 것으로 여겨진다.

## 걷기 형태별 운동부하검사 후 젖산 비교

젖산은 무산소성 대사가 이루어지는 활동에서 인체가 과도하게 산성화되는 것을 예방하고 글루코스(glucose)의 항상성을 유지하는데 주된 역할을 한다(Powers et al., 2020). 운동 중 약 75%가 에너지원으로 산화되며 휴식 시 생성량의 약 50%가 에너지원으로 동원되는 만큼 젖산은 다양한 활동에서 인체의 기능적 차이를 검증하기 위한 중요한 생리학적 지표임을 알 수 있다(Song et al., 2017). 특히 고강도 지구성 운동인 경보에서도 젖산은 중요한 지표로 활용되고 있는데, Sung et al.(2022)은 경보선수의 체력을 향상시키기 위해서는 젖산의 발현 양상의 지속적인 관찰이 필요하며 이를 근거로 선수들의 체력 프로그램이 구성되어야 경기력이 개선된다고 거론했다. 특히, 경기 초반 또는 후반의 스피드 가속 구간에서 나타날 수 있는 젖산 역치와 무산소성 에너지 대사를 개선시키기 위해서는 젖산의 회복률에 대한 관찰도 중요한 것으로 제시되었다(Yoshida et al., 1990). 그러므로 본 연구에서도 처치 후 발생하는 생리학적 변화를 관찰하기 위해 젖산의 발현양상을 비교·분석하였다.

두 처치 모두 사전과 비교하여 운동 종료 후 모든 시점에서 통계적 유의차가 있는 것으로 나타났다( $p < .01$ ). KRP 처치의 경우 사전과 비교하여 사후 젖산 발현이 약 5.7배 상승한 것을 관찰할 수 있으며, KWP의 경우 사전과 비교하여 사후 약 5배 증가한 것을 알 수 있다. 두 처치에 대한 비교에서는 통계적 차이는 나타나지 않았지만 운동 종료 직후 KWP 처치와 비교하여 KRP 처치의 젖산 발현이 약 30% 높은 것으로 나타났으며, 이후 3, 5분에서도 각각 19.8%, 13.7%의 차이가 있는 것으로 관찰되었다. 경보는 규칙상 한 발은 꼭 지면에 접촉된 상태에서 전진이 이루어져야 하는 만큼 달리기와 같이 탄성에 의한 에너지 효율성을 기대할 수 없기 때문에 상대적으로 하지의 피로가 높아질 수 있다(ACSM, 2021; Bompa & Buzzichelli, 2021). 선행연구에서는 동일한 피험자가 1.41m/sec의 속도로 걷는 것과 비교하여 2.82m/sec의 속도로 뛰었을 때 칼로리 소모가 약 19% 증가되는 것으로 보고하였다(McArdle et al., 2022). 이는 달리는 것이 에너지 소비가 높은 것으로 보이나 동일한 속도에서 걷게 되면 상체와 하체의 협응적 움직임의 제한이 발생하게 된다(McGinnis, 2020), 이로 인하여 Stretch Shortening Cycle로 인한 추진력을 기대할 수 없게 되고 국소 피로가 더욱 증가하게 되어 무산소성 에너지 동원이 높아질 것이다(Sung et al., 2022). 또한, 동일한 피험자를 대상으로 4가지 형태의 GXT 프로토콜을 적용한 연구에서 속도의 변화 없이 각도(Grade)만을 증가시켜 부하를 높인 실험이 가장 높은 산소섭취량을 기록하였다(Pollock et al., 1976). 본 연구에서도 선행연구와 같이 동일한 속도로 각도만을 이용하여 점증적으로 부하를 증가시켰다면 또 다른 결과를 기대할 수 있었겠지만 전술한 바와 같이 종목 특성과는 다른 역학적 특징을 고려하여 측정 시 각도 변화는 배제시켰다. 그러므로 측정 초기 무산소성 대사를 통한 에너지 동원을 최소화하며 종목의 특성이 고려된 KWP 처치가 선수들의 체력 측정에 적절할 것으로 여겨진다.

## 결론 및 제언

본 연구를 통하여 도출된 결과는 다음과 같다.

첫째, 두 가지 걷기 형태의 운동부하검사 적용에 따른 운동시간의

차이는 KWP 처치에서 유의하게 높은 것으로 나타났다.

둘째, 두 가지 걷기 형태의 운동부하검사 적용에 따른 환기량, 심박수 및 최대산소섭취량의 차이는 시기에서 통계적 유의차가 있었으며, 처치에 따른 차이는 산소섭취량에서 KWP 처치가 운동 종료 직후 유의하게 높은 것으로 나타났다.

셋째, 두 가지 걷기 형태의 운동부하검사 적용에 따른 회복기 젖산 발현의 차이는 시기에서 통계적 유의차가 있는 것으로 나타났지만, 처치에 따른 차이는 없는 것으로 나타났다.

결론적으로, 현재까지 국가대표 경보선수를 대상으로 실시된 KRP 검사와 비교하여 KWP 검사에서 높은 산소섭취량이 나타났으며, 이는 선수들의 체력 평가 및 훈련 프로그램 적용에 따른 효과 검증을 위해 KWP 검사가 적절할 것으로 여겨진다. 본 연구의 제한점으로 6명의 적은 피험자를 대상으로 실험이 진행된 만큼 추후에는 더 많은 표본수를 대상으로 검사가 진행되어야 할 것이다.

## CONFLICT OF INTEREST

논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

## AUTHOR CONTRIBUTION

Conceptualization: BJ Sung; Data curation: BJ Sung & KK Lee; Formal analysis: KK Lee; Methodology: BJ Sung & KK Lee; Project administration: MH Lee & KK Lee; Visualization: KK Lee; Writing - original draft: KK Lee; Writing - review & editing: BJ Sung & KK Lee

## 참고문헌

- ACSM (2006). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (7th ed.). Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.
- ACSM (2021). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (11th ed.). Philadelphia, PA: Wolters Kluwer.
- Amaro-Gahete, F. J., Jurado-Fasoli, L., Triviño, A. R., Sanchez-Delgado, G., De-la-O, A., Helge, J. W., & Ruiz, J. R. (2019). Diurnal variation of maximal fat-oxidation rate in trained male athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(8), 1140-1146.
- Amaro-Gahete, F. J., Sanchez-Delgado, G., Helge, J. W., & Ruiz, J. R. (2019). Optimizing maximal fat oxidation assessment by a treadmill-based graded exercise protocol: When should the test end? *Frontiers in Physiology*, 10, 909.
- Batterham, A. M., & Atkinson, G. (2005). How big does my sample need to be? a primer on the murky world of sample size estimation. *Physical Therapy in Sport*, 6(3), 153-163.
- Bayles, M. P., & Swank, A. M. (2018). *ACSM's exercise testing and prescription*. Philadelphia, PA: Wolters Kluwer.
- Bellar, D., & Judge, L. W. (2016). Ratio of total carbon dioxide produced to oxygen consumed is predictive of VO<sub>2</sub> max during graded exercise testing. *Biology of Exercise*, 12(2), 45-53.
- Beltz, N. M., Gibson, A. L., Janot, J. M., Kravitz, L., Mermier, C. M., & Dalleck, L. C. (2016). Graded exercise testing protocols for the determination of VO<sub>2</sub>max: Historical perspectives, progress, and future considerations. *Journal of Sports Medicine*, 2016, 3968393.
- Bompa, T. O. (1999). *Periodization training for sports*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Bompa, T. O., & Buzzichelli, C. A. (2021). *Periodization of strength training for sports*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Cerezuela-Espejo, V., Courel-Ibáñez, J., Morán-Navarro, R., Martínez-Cava, A., & Pallarés, J. G. (2018). The relationship between lactate and ventilatory thresholds in runners: Validity and reliability of exercise test performance parameters. *Frontiers in Physiology*, 25(9), 1320.
- Costill, D. L., Coyle, E., Dalsky, G., Evans, W., Fink, W., & Hoopes, D. (1977). Effects of elevated plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 43(4), 695-699.
- Day, J. R., Rossiter, H. B., Coats, E. M., Skasick, A., & Whipp, B. J. (2003). The maximally attainable VO<sub>2</sub> during exercise in humans: The peak vs. maximum issue. *Journal of Applied Physiology*, 95(5), 1901-1907.
- Fleck, S. J., & Kraemer, W. J. (2003). *Designing resistance training programs* (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Greiwe, J. S., & Kohrt, W. M. (2000). Energy expenditure during walking and jogging. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40(4), 297-302.
- Haff, G. G., & Triplett, N. T. (2015). *Essentials of strength training and conditioning* (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Hanley, B. (2013). An analysis of pacing profiles of world-class racewalkers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(4), 435-441.
- Hanley, B., Drake, A., & Bissas, A. (2008). The biomechanics of elite race walking: Technique analysis and the effects of fatigue. *New Studies in Athletics*, 23(4), 17-25.
- Hoga, K., Ae, M., Enomoto, Y., & Fuji, N. (2003). Mechanical energy flow in the recovery leg of elite race walkers. *Sport Biomechanics*, 2(1), 1-13.
- Jung, I. G. (2011). *Human performance & exercise physiology*. Seoul: Deakyungbooks.
- Ko, S.-H., Kim, T.-H., & Jekal, Y. (2016). Comparative analysis of protocols through a treadmill exercise test. *Journal of Exercise and Sport Science*, 22, 53-62.
- Léger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., & Lambert, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences*, 6(2), 93-101.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2022). *Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance* (9th ed.). Baltimore, MD: Wolters Kluwer.
- McGinnis, P. M. (2020). *Biomechanics of sport and exercise* (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Pallarés, J. G., Morán-Navarro, R., Ortega, J. F., Fernández-Eliás, V. E., & Mora-Rodríguez, R. (2016). Validity and reliability of ventilatory and blood lactate thresholds in well-trained cyclists. *PLoS ONE*, 11(9), e0163389.
- Papadakis, Z., Etchebaster, M., & Garcia-Retortillo, S. (2022). Cardiorespiratory coordination in collegiate rowing: A network approach to cardiorespiratory exercise testing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(20), 13250.
- Pavei, G., & La Torre, A. (2016). The effects of speed and performance level on race walking kinematics. *Sport Sciences for Health*, 12(1), 35-47.
- Pollock, M. L., Bohannon, R. L., Cooper, K. H., Ayres, J. J., Ward, A., White, S. R., & Linnerud, A. C. (1976). A comparative analysis of four protocols for maximal treadmill stress testing. *American Heart Journal*, 92(1), 39-46.
- Powers, S. K., Howley, E. T., & Quindry, J. (2020). *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance* (11th ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
- Song, Y., Jeon, J. Y., & Suh, S.-H. (2017). Understanding of lactate. *Korean Journal of Sport Science*, 28(1), 1-10.
- Sung, B.-J., Lee, M.-H., & Lee, K.-K. (2022). Comparing cardiopulmonary functions of national race walkers by walking and running during graded exercise testing. *Exercise Science*, 31(3), 328-336.
- Thompson, W. R. (2019). *American college of sports medicine's clinical exercise physiology*. Philadelphia, PA: Wolters Kluwer.

**Yoshida, T., Udo, M., Chida, M., Ichioka, M., Makiguchi, K., & Yamaguchi, T. (1990).** Specificity of physiological adaptation to endurance training in distance runners and competitive walkers. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 61(3-4), 197-201.

## 엘리트 경보 선수들의 걷기 운동부하검사 프로토콜에 따른 심박수, 환기량, 산소섭취량, 젖산 변화 및 회복률 비교

성봉주<sup>1</sup>, 이민호<sup>2</sup>, 이광규<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국스포츠정책과학원, 수석연구위원

<sup>2</sup>경기도육상연맹, 전무이사

<sup>3</sup>충청대학교, 조교수

[목적] 본 연구는 엘리트 경보 선수를 대상으로 두 가지 형태의 걷기 운동부하검사 시 나타나는 생리학적 변화를 관찰하기 위해 진행되었다.

[방법] 피험자는 국가대표 남자 경보선수 6명을 대상으로 실시하였으며, 배정은 randomized cross-over design으로 1주일 간격으로 총 2회 진행되었다.

[결과] 두 가지 걷기 형태의 운동부하검사에서 산소섭취량, 환기량 및 심박수는 시점 간 유의차가 있는 것으로 나타났다 ( $p < .01 \sim .05$ ). 운동시간 및 산소섭취량에서는 집단 간 차이가 있었지만 ( $p < .01 \sim .05$ ), 환기량 및 심박수는 나타나지 않았다. 회복기 동안, 젖산의 경우 시점 간 차이는 있었지만 ( $p < .01$ ), 집단 간 차이는 없는 것으로 나타났다.

[결론] 이상의 결과를 종합해보면 두 가지 형태의 운동부하검사 중 변형된 걷기 프로토콜이 경보선수의 생리학적 변화를 관찰하는데 더 효과적일 것임을 알 수 있다.

### 주요어

경보선수, 운동부하검사, 생리학적 변인