

남녀 청소년의 심폐지구력 평가를 위한 Step test 추정식의 일치도 평가

송정란¹, 이상현¹, 김양중¹, 김수진¹, 박 혁¹, 김준수¹, 곽효범¹, 강주희², 박동호¹

¹인하대학교 스포츠과학과, ²인하대학교 의과대학 약리학교실

Assessing Agreement of Step Test Equations to Estimate VO₂max in Korean Male and Female Youths Aged 13-18 Years

Jung-Ran Song¹, Sang-Hyun Lee¹, Yang-Jung Kim¹, Su-Jin Kim¹, Hyuk Park¹, Jun-Su Kim¹, Hyo-Bum Kwak¹, Ju-Hee Kang², Dong-Ho Park¹

¹Department of Kinesiology, Inha University, Incheon; ²Department of Pharmacology and Medicinal Toxicology Research Center, College of Medicine, Inha University, Incheon, Korea

PURPOSE: To assess the agreement between maximal oxygen consumption (VO₂max) measured directly when performing the maximal graded exercise test (GXT) and estimated VO₂max from two different equations in Korean male and female youths aged 13-18 years.

METHODS: Sixty-six adolescents (15.3 ± 1.7 years, 166.0 ± 7.8 cm, 58.7 ± 10.0 kg, BMI 21.2 ± 2.7) performed GXT on a treadmill and Astrand-Ryhming step test (AR test) to measure VO₂max and VO₂max estimates, respectively. The participants wore a portable device (Polar CS300) to measure heart rate (HR) during the tests.

RESULTS: Correlation coefficients (*r*) between VO₂max of the equations and VO₂max of the measured value were 0.321 (*p* < 0.05) and 0.713 (*P* < 0.01), respectively. The mean difference ranged from -0.234 mL · kg⁻¹ · min⁻¹ to -3.63 mL · kg⁻¹ · min⁻¹. The AR equation tended to be somewhat underestimated measured VO₂max. The standard error of the estimate (SEE) ranged from 4.95 mL · kg⁻¹ · min⁻¹ to 7.60 mL · kg⁻¹ · min⁻¹, and the percentage error (%Error) ranged from 26.6% to 193.7%.

CONCLUSIONS: The results of this study suggest that the equation provides the closest agreement with directly measured VO₂max in Korean male and female youths aged 13-18 years. A further study needs to develop a step test estimation equation targeting adults and elderly people in which validity and reliability are secured.

Key words: VO₂max, Equation, Step test, Validity, Youths

서론

WHO [1]의 Global Health Risks 보고서에 따르면, 건강에 대한 주요 위험은 과거 부적절한 영양 또는 위생과 같은 전통적인 위험에서 현대

에는 신체비활동과 과체중 또는 비만이라는 위험요인으로 변경되고 있다. 특히, 과체중이나 비만의 주요 원인 중 하나가 신체활동을 하지 않는 것(신체비활동)이며, 신체활동은 비만으로 인하여 유발되는 다양한 만성질환뿐만 아니라 좌식생활로 인한 사망률을 비롯한 여러 가지

Corresponding author: Dong-Ho Park **Tel** +82-32-860-8182 **Fax** +82-32-860-8188 **E-mail** dparkosu@inha.ac.kr

*이 연구는 2018년도 인하대학교 교내연구비로 수행되었음. *This work was supported by INHA UNIVERSITY Research Grant in 2018.

Keywords 최대산소섭취량, 추정식, 스텝테스트, 타당도, 청소년

Received 9 Jan 2019 **Revised** 23 Jan 2019 **Accepted** 1 Feb 2019

© 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.

질환 및 질병의 위험도를 감소시킨다.

우리나라를 포함하여 미국, 캐나다 등의 선진국과 WHO에서는 청소년들의 신체활동 가이드라인과 관련하여 주당 5일 이상, 하루 60분 이상의 신체활동을 권장하고 있다. 하지만 우리나라 청소년들의 신체활동 실천율은 선진국의 절반 정도에 해당하는 13.1%에 지나지 않는다[2]. 이렇듯 낮은 신체활동 참여는 청소년들의 체력수준 저하뿐만 아니라 청소년 비만의 주된 원인이며, 아동의 비만은 심혈관질환을 포함한 고혈압, 당뇨병, 암 등으로의 성인 이완율(약 60%)로 이어지는 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 이에 따라 우리나라 정부에서는 국민들의 건강과 체력향상을 위한 생활체육 참여를 적극적으로 유도하고, 국가적 노력의 일환으로 국민들의 체력을 인증하여 국민건강 증진을 도모하기 위하여 2010년부터 청소년을 포함한 성인과 노인을 대상으로 현재의 체력수준을 측정하고 평가하여 인증하는 “국민체력 100” 사업을 진행하고 있다[3].

국민체력 100은 문화체육관광부와 국민체육진흥공단이 추진하는 사업으로, 국민들의 체력을 측정하고 이 결과를 토대로 운동처방을 실시하기 위하여 거점센터를 지정하여 운영하고 있으며, 매해 국민들의 지원 요구가 증가함에 따라 거점센터 수가 급격하게 늘어나고 있다(2012년 전국 4개에서 2018년 42개소 거점센터 운영). 그러나 매해 진행되는 거점 센터 선정과정에서 심폐지구력 항목인 20 m 왕복달리기의 측정 공간을 확보하는 데 어려움이 제기되고 있어 공간의 제약을 최소화하고 보다 정확하고 안전하게 심폐지구력을 측정하기 위한 대체 검사 종목이 절실히 요구되고 있다[4].

이들 심폐지구력 측정을 위한 필드 검사 중 스텝검사(step test)는 공간의 제약을 최소화하고 최대운동부하검사에 해당하는 20 m 왕복달리기검사와는 달리 최대운동부하검사로써 안전하게 심폐지구력을 측정하기 위한 대체 검사 종목으로 타당하다. 특히, 유산소성 운동능력을 추정하는 가장 간편한 측정방법일 뿐만 아니라 남녀노소 누구나 짧은 시간에 좁은 공간에서 실시할 수 있는 측정방법으로서 개인별로 성별 등에 따라 적절한 운동강도(속도 및 스텝높이)를 조절하기가 용이하기 때문이다[5,6]. 더욱이 다른 심폐지구력 측정방법에 비해 측정에 소요되는 장비, 인력, 시간 등에서 매우 경제적이며 효율적인 방법이고, 어느 정도의 타당도와 신뢰도가 확보된 측정 도구이기 때문이다[7].

현재 학교현장에서 가장 많이 사용되고 있는 스텝검사 방법으로는 Harvard 스텝검사, Astrand-Ryhming 스텝검사, YMCA 스텝검사 등이 있으며, 스텝검사에 따라 스텝박스의 높이, 실시 속도, 시간 등이 다르게 구성되어 있다. 이 중에서 가장 우선시되는 것은 대상자의 신장 차이에 근거한 스텝박스의 높이로서 높이가 적절하지 않을 경우 측정결과에 대한 타당도가 감소할 수 있기 때문에 남녀 간의 스텝박스에 대한 차이가 고려될 필요성이 있음을 제기한 바 있다[8,9]. 즉, 스텝검사 중 스텝박스의 높이에 따라 대상자의 심폐지구력 평가가 달라질 수 있

음을 의미한다. 그럼에도 불구하고 한국스포츠개발원에서 선정한 YMCA 검사의 경우 스텝박스의 높이를 남녀 모두 30.5 cm로 설정함으로써 남녀 간 신장의 차이를 충분히 고려하지 못한 스텝검사 방법으로 판단되며, 한국스포츠개발원의 YMCA 스텝검사 VO₂max 산출공식(남 $r^2 = .429$, SEE = 5.236 mL·kg⁻¹·min⁻¹; 여 $r^2 = .439$, SEE = 4.35 mL·kg⁻¹·min⁻¹) [3]은 청소년이 아닌, 성인(19-64세)을 대상으로 한 추정공식으로 19세 이하 청소년들에게 이 추정식을 그대로 적용하기에는 다소 무리가 있다.

최근 이러한 단점을 보완한 Astrand-Ryhming 스텝검사 프로토콜(남녀 각각 40 cm, 33 cm로 분당 23 step/min의 속도로 5분간 실시)을 기반으로 한 추정식이 개발되어 보고된 바 있으나[10], 이 추정식의 타당도 확보를 위한 일지도 평가가 이루어지지 않아 19세 이하 청소년을 대상으로 현장 사용에 대한 실효성 검증이 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 남녀 청소년들을 대상(만 13-18세)으로 실험실에서 이루어지는 최대점증부하검사(graded exercise test, GXT)를 통해 측정된 VO₂max를 준거로 하여 현재 새롭게 개발된 Astrand-Ryhming 스텝검사 프로토콜 기반의 추정식으로부터 산출된 VO₂max에 대한 일치도를 평가하고자 한다.

연구 방법

1. 연구대상

본 연구에서는 1시 소재 남녀 중고등학생 66명이 참여하였으나 측정과정 중 중도 포기하거나 자료 수집 시 문제가 발생한 9명의 학생을 제외한 57명(탈락률 13.6%)이 참여하였다. 이 연구에 참여한 대상자의 대상자 선별 조건으로는, 첫째, 심혈관질환이나 대사성 질환, 근골격계 질환이 없는 건강한 자, 둘째, 비 흡연자, 셋째, 최근 3개월 내에 외과적 수술을 받은 경험이 없는 자, 넷째, 최근 1주일 이내에 실험에 영향을 미칠 수 있는 약물(예: 몸살 또는 감기 등)을 투여받은 경험이 없는 자, 다섯째, 걷거나 뛰는 데 어려움이 없는 자로 하였다.

본 연구의 진행은 기관윤리위원회(IRB)의 심의를 통한 승인(140325-3A)을 거친 후 참여 학생과 학부모들에게 본 연구의 측정 내용과 이유를 설명하고 학부모로부터 동의서를 받은 후 본 실험을 실시하였다. 아울러 참여 학생의 담임 및 체육교사들에게도 측정내용 및 이유를 설명하여 측정 협조를 요청한 후 모든 측정을 진행하였다. 본 연구에 참여한 남녀 학년별 대상자들의 특성은 Table 1과 같다.

2. 연구절차

1) 체격 및 인체조성 측정

신장과 체중은 반바지와 티셔츠를 입은 상태에서 측정기기(TBF2002, Tanita Co., Japan)를 이용하여 각각 0.1 cm와 0.1 kg 단위까지 계측하였

Table 1. Subject characteristics

Variables	Males (n=30)	Females (n=27)	Total (n=57)
Age (yr)	14.97±1.81	15.54±1.50	15.26±1.68
Height (cm)	171.21±5.53	160.81±6.20	166.01±7.84
Weight (kg)	62.72±10.29	54.64±7.90	58.68±9.97
BMI (kg/m ²)	21.31±3.02	21.08±2.45	21.20±2.73
Lean Bbody Mass (kg)	52.86±5.40	39.13±4.84	46.00±8.58
Body fat (%)	16.37±9.20	26.33±10.70	21.35±11.10
Waist circumference (cm)	73.69±9.03	70.02±7.27	71.85±8.34
Height circumference (cm)	92.58±4.95	93.62±6.78	93.10±5.91
Waist to hip ratio	73.69±9.03	70.02±7.27	0.77±0.07
HRmax (beat·min ⁻¹)	196.87±1.21	196.49±1.01	196.68±1.12

Values are means ± SD.
 BMI, body mass index; LBM, lean body mass; WC, waist circumference; HC, hip circumference; WHR, waist-hip ratio; HRmax, 206.9-[0.67×나이] [11].

다. 또한 허리와 엉덩이 둘레 모두 0.1 cm 단위까지 측정하였다. 체지방을 포함한 체성분 분석은 인피던스 방식의 체성분 분석기(Inbody 4.0, Korea)를 이용하여 대상자들의 체지방률(% fat)을 측정하였다.

2) 트레드밀에서의 GXT를 통한 VO₂max 측정

대상자들은 무선 심박측정기(POLAR, Newyork, USA)를 착용하고 10분 동안 안정을 취한 후 트레드밀을 이용하여 VO₂max를 측정하였다(True One 2400® Metabolic Measurement System, Parvo-Medics Inc., Sandy, UT). GXT를 이용한 VO₂max의 측정은 일반 성인 여성 또는 남성을 대상으로 하는 KSSI protocol (체육과학연구원)을 수정하여 측정하였다. 본 프로토콜의 최초 운동 시작 부하속도를 5.0 km/hr, 경사도 3% (남녀 모두)에서 2분간 실시하고 이후 단계별 부하 증가는 경사도를 고정(남녀 모두 3%)한 상태에서 속도만 2분마다 1.5 km/hr씩 점증적으로 증가시킨다. 운동 중에는 심박수, 호흡교환율, 운동자각도 등을 측정하였고 산소섭취량은 breath-by-breath 방법으로 호기가스를 표집하였으며(자료 처리는 10초단위), 이들 변인들을 토대로 달리기 지속 여부를 수시로 확인하면서 대상자가 더 이상 운동을 지속하지 못하는 상태(all-out)까지 지속시켰다. VO₂max는 운동 부하가 증가됨에도 불구하고 산소 섭취량(VO₂)의 수준이 항정 상태일 때로, 이때 운동 중 심박수가 나이로 추정된 최대 심박수(206.9-[0.67×나이]) [11]의 ±10 bpm 이내에 있을 때 그리고 호흡 교환율(RER)>1.1이거나 운동자각도가 17 이상일 때로 간주하였다.

3) Astrand-Ryhming 스텝검사 프로토콜을 기반으로 한 스텝검사

측정검사의 순서는 모든 대상자를 무작위로 선정하여 측정순서를 사전에 결정한 후 일정에 맞춰 진행하였다. GXT 검사와 Astrand-Ryhming 스텝검사는 1주일 간격으로 진행함으로써 검사종목 간 간섭효과(interaction)를 최대한 배제토록 하였다.

GXT 검사와 함께 모든 대상자는 Astrand-Ryhming 스텝검사에 참여하였다. Astrand-Ryhming 스텝검사의 진행을 위해 검사원 1명과 측정정보조원 1명이 검사위원으로서 측정을 진행하였다. 원활한 스텝검사를 위하여 최소 길이 4 m, 폭 4 m 이상의 수평 공간을 확보한 후, 남녀 각각 40 cm, 33 cm의 스텝을 준비하였으며, 또한 스텝검사 중 일정한 박자를 유지하기 위해 메트로놈을 이용하여 검사 동안 스텝의 속도를 통제하였다.

실험 참가 전에 자리에 앉아서 최소 5분 이상의 안정을 취한 후 5분이 지날 때 대상자의 안정 시 심박수를 측정, 기록하였다. 이를 위하여 대상자들은 무선심박수 측정기(POLAR RS400, Finland)를 착용하게 하고, 검사 중 심박수 반응을 저장하였다. 안정시 심박수 측정이 종료된 후 23 step/min의 속도로 5분간 스텝 테스트를 실시하였으며, 이때 심박수는 안정 시부터 회복기까지 매 1초 단위의 측정결과를 수집한 후 5초 단위 평균 심박수로 기록하였다. 스텝검사가 종료된 후 측정대상자는 의자에 앉은 상태로 회복기 2분까지의 심박수를 측정, 기록하였다. 스텝검사 중 측정된 심박수(운동종료 후 회복기 30초, 무선심박수 측정기 이용)는 첫째, 기존의 Astrand-Ryhming 스텝검사 VO₂max 추정식[12]을 이용하여 VO₂max 추정값을 산출하였으며[9],

- 남성: VO₂max (L/min)=3.744×[(체중+5)/(심박수*·62)]
- 여성: VO₂max (L/min)=3.750×[(체중-3)/(심박수*·65)]

*심박수: 실제 Astrand-Ryhming 스텝검사 VO₂max 추정공식에서 사용된 심박수는 검사종료 후 15초부터 30초까지의 심박수를 측정한 후 4를 곱하여 분당 심박수를 산출하였으나 본 연구에서는 측정종료 후 회복기 30초의 심박수를 사용함(Polar를 이용한 심박수 측정값). VO₂max (L/min)를 VO₂max (mL·kg⁻¹·min⁻¹)로 변환하기 위해서는, 체중(kg)으로 나눈 후 1,000을 곱함.

둘째, Astrand-Ryhming 스텝검사 프로토콜을 기반으로 새롭게 개발된 추정식[10]의 타당도를 검증하기 위하여 Song et al. [10]이 아래의 추정식을 활용하여 VO₂max 추정값을 산출하였다.

$$y = (-13.963 \times \text{sex}) - (0.216 \times W) - (0.072 \times \text{HR}) + 91.296$$

여기서 Sex=남성 1, 여성 2. W=체중(kg), HR=측정종료 후 회복기 30초의 심박수(Polar를 이용한 심박수 측정값), Y=VO₂max 예측값 (mL·kg⁻¹·min⁻¹).

3. 자료처리방법

본 연구의 자료처리를 위하여 통계프로그램 SPSS 22.0을 이용하여 각 변인들의 평균과 표준편차를 산출하였다. 추정식(회귀식)에 대한 일치도 평가를 위하여 GXT VO₂max와 기존의 Astrand-Ryhming 스텝검사 VO₂max 추정식 그리고 Song et al. [10]이 새롭게 개발한 추정식의 VO₂max 간 상관분석을 실시하였으며, Bland-Altman plot [13,14]의 측정오차 측정법을 활용하여 추정결과에 대한 일치도를 평가하였다.

아울러 일치도 평가의 일환으로 GXT를 이용하여 측정된 VO₂max와 기존의 Astrand-Ryhming 스텝검사 VO₂max 추정식 그리고 Song et al. [10]이 새롭게 개발한 추정식으로부터 산출한 VO₂max의 차이를 일원 변량 ANOVA를 이용하여 차이검증을 실시하였다. 또한 GXT와 스텝 테스트 시의 관찰변인들(VO₂max 실측값과 예측값, 소요시간, 속도 등)에 대한 남녀 간의 차이는 독립 t-test를 이용하였다. 본 연구에서의 모든 통계적 유의수준(α)은 0.05로 설정하였다.

연구결과

1. 트레드밀에서의 GXT와 Astrand-Ryhming 스텝검사 관련

측정변인 결과

본 연구에서는 대상자들의 정확한 VO₂max 측정을 위하여 실험실에서 트레드밀을 이용하여 GXT를 통해 VO₂max를 측정하였고 또한,

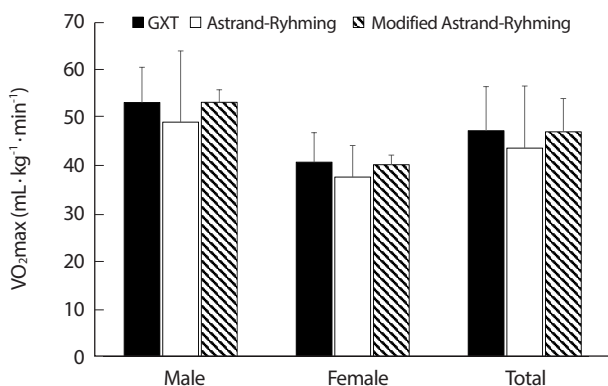


Fig. 1. The difference between the VO₂max measured from GXT and the predicted VO₂max calculated by the estimation equations. Values are means±SD. No difference between measured VO₂max and VO₂max predicted by original and modified Astrand-Ryhming estimation equations.

Astrand-Ryhming 스텝검사 protocol을 이용하여 기존의 Astrand-Ryhming 스텝검사 VO₂max 추정식[11]과 Song et al. [10]이 개발한 VO₂max 추정공식을 활용하여 VO₂max를 각각 산출하였다(Fig. 1).

Table 2의 결과에 따르면, GXT 시 운동 종료직후 남녀 평균 HRmax는 195.7 (±7.8 beat/min)로 Gellish et al. [11]의 공식에 의하여 산출된 HRmax (남녀 평균 196.7±1.1 bpm)에 준하는 운동강도에서 운동이 종료되었음을 확인할 수 있었다. 남녀 평균 HRmax와는 달리 VO₂max (남 53.1±7.4 vs. 여 40.7±6.2 mL · kg⁻¹ · min⁻¹, *p*<0.001)를 포함한 운동지속시간(남 10.2±2.1 vs. 여 8.2±1.9 min, *p*<0.001), 최종속도(남 11.1±1.5 vs. 여 9.8±1.5 km/hr, *p*<0.001)는 성별에 따른 유의한 차이가 나타났다.

Astrand-Ryhming 스텝검사 측정결과에서는 운동종료 직후 HRmax는 남녀 모두 HRmax 대비 84.1-89.5% 수준(GXT 남녀 평균 195.7±7.8 bpm vs. Step test 169.67±19.60 bpm)으로써 GXT 검사보다 낮은 운동 강도 수준에서 운동이 종료되었음을 확인할 수 있었다.

또한 Astrand-Ryhming 스텝검사 프로토콜 기반의 새로운 추정식을 통해 산출된 VO₂max 결과에서는 남자의 경우 53.2±2.6 mL · kg⁻¹ · min⁻¹ 그리고 여자의 경우 40.1±2.0 mL · kg⁻¹ · min⁻¹로 나타나 GXT를 통해 측정된 VO₂max (남 53.1±7.4, 여 40.7±6.2 mL · kg⁻¹ · min⁻¹)와 매우 유사한 것으로 나타난 반면, 기존의 Astrand-Ryhming 스텝검사 추정식을 이용하여 산출한 VO₂max 결과에서는 남자의 경우 49.0±14.9 mL · kg⁻¹ · min⁻¹ 그리고 여자의 경우 37.6±6.6 mL · kg⁻¹ · min⁻¹로 남녀 모두 각각 7-8% 낮은 경향을 보였으나 통계적 차이는 나타나지 않았다(*p*=0.142).

이러한 결과는 Astrand-Ryhming 스텝검사 프로토콜 기반의 Song et al. [10]이 개발한 새로운 추정식을 통해 산출되는 VO₂max가 본 연구에 참여한 남녀 청소년들의 VO₂max를 잘 반영하고 있음을 의미한다.

Table 2. Measured variables in GXT and variables related to Astrand-Ryhming step test

Variables		Male (n=30)	Female (n=27)	Total (n=57)
GXT	VO ₂ max (mL · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	53.12 ± 7.37 ND **	40.67 ± 6.16 ND	47.22 ± 9.22 ND
	Duration time (min)	10.18 ± 2.12**	8.24 ± 1.91	9.24 ± 2.23
	Speed (km · hr ⁻¹)	11.14 ± 1.47**	9.79 ± 1.47	10.48 ± 1.61
	HRmax (beat · min ⁻¹)	195.96 ± 9.26	195.40 ± 6.04	195.70 ± 7.84
Original Astrand-Ryhming step test	[†] PVO ₂ max (mL · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	49.02 ± 14.88**	37.55 ± 6.61	43.59 ± 12.98
	HR at IAT (beat · min ⁻¹)	164.70 ± 24.18	174.86 ± 11.70	169.67 ± 19.60
	Total work (kgm)	3,846.72 ± 630.97**	2,764.83 ± 339.82	3,305.77 ± 756.19
Modified Astrand-Ryhming step test	[‡] PVO ₂ max (mL · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	53.16 ± 2.63**	40.13 ± 2.01	46.99 ± 6.97

Values are means ± SD.

ND, No significant difference from VO₂max predicted by original and modified Astrand-Ryhming step test VO₂max prediction equation; IAT, immediately after test; PVO₂max, predicted VO₂max; W, weight; HR, recovery 30 seconds after step test in sitting position (polar measurement).

p*<0.05; *p*<0.01. Difference between male and female; [†]Original Astrand-Ryhming VO₂max prediction equation [12]: Male VO₂max (L · min⁻¹) = 3.744 × [(Weight+5)/(HR-62)]; Female VO₂max (L · min⁻¹) = 3.750 × [(Weight-3)/(HR-65)]; [‡]Modified Astrand-Ryhming VO₂max prediction equation [10]: y = (-13.963 × sex) - (0.216 × W) - (0.072 × HR) + 91.296; sex: male = 1, female = 2.

2. 새로운 Astrand-Ryhming protocol 기반의 추정식에 의한

VO₂max와 측정된 VO₂max의 일치도

본 연구에서는 한국 청소년을 대상으로 Song et al. [10]이 개발한 Astrand-Ryhming 스텝검사 기반의 VO₂max 추정식과 기존의 Astrand-Ryhming 스텝검사의 VO₂max 추정식 그리고 트레드밀을 이용하여 GXT를 통해 측정된 VO₂max 간 일치도 검증을 실시하였다.

Table 3에 제시된 결과에 따르면, GXT를 통해 측정된 VO₂max와 기존의 Astrand-Ryhming 스텝검사의 VO₂max 추정식을 통해 산출된 VO₂max의 오차제곱합(sum of squared errors, SSE), 평균오차제곱합(mean sum of squared errors, MSE), 측정표준오차(standard error of the estimate: estimate, SEE)는 각각 10,644.60, 186.75, 13.67으로 나타났다. 또한 실측값과의 95% 신뢰구간(Confidence interval, CI)에서의 평균차는 -3.63 mL·kg⁻¹·min⁻¹로 나타났다. 그 예로, GXT를 통해 측정된 VO₂max는 남녀 평균 47.22±9.22 mL·kg⁻¹·min⁻¹이었으나 기존의 추정식을 이용하여 산출된 VO₂max는 43.59±12.98 mL·kg⁻¹·min⁻¹로 유의한 차이는 나타나지 않았으나 약 7-8% 낮은 경향을 보였고, 상관계수($r=.321, p<.05$) 역시도 낮았다. 반면, GXT를 통해 측정된 VO₂max와 Song et al. [10]이 개발한 Astrand-Ryhming 스텝검사 기반의 VO₂max 추정식을 통해 산출된 VO₂max의 오차제곱합(SSE), 평균오차제곱합(MSE), 측정표준오차(SEE)는 각각 2,489.38, 42.92, 6.55 mL·kg⁻¹·min⁻¹로 나타났다. 또한 실측값과 추정값의 신뢰구간(CI)의 평균차는 -0.234 mL·kg⁻¹·min⁻¹로 나타났다. 즉, GXT를 통해 측정된 VO₂max와도 매우 유사한 값을 보였으며(47.22±9.22 vs. 46.99±6.97 mL·kg⁻¹·min⁻¹), 상관계수($r=.713, p<.01$)

Table 3. The correlation and agreement of VO₂max measured from GXT Vs. VO₂max calculated by modified Astrand-Ryhming equation

Measure	Equation from this study	
	Original Astrand-Ryhming equation	Modified Astrand-Ryhming equation
Correlation coefficient (r)	.321*	.713**
SSE (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	10,644.60	2,489.38
MSE (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	186.75	42.92
RMSE (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	13.67	6.55
SEE (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	7.60	4.95
% error	193.7	26.6
Mean difference (95% CI) [§] (mL/kg/min)	-3.63	-0.234

SSE, sum of squared errors; MSE, mean of squared errors; RMSE, root mean squared errors; SEE, standard error of estimate.

* $p<0.05$, ** $p<0.01$. [†]Original Astrand-Ryhming VO₂max prediction [12]; Male: VO₂max (mL·kg⁻¹·min⁻¹)=(3.744×[(Weight+5)/(HR-62)]/Weight×1,000; Female: VO₂max (mL·kg⁻¹·min⁻¹)=(3.750×[(weight-3)/(HR-65)]/Weight×1,000. [‡]Modified equation of Astrand-Ryhming VO₂max equation [10]; $y=(-13.963 \times \text{Sex})-(0.216 \times \text{Weight})-(0.072 \times \text{HR})+91.296$; Weight=kg, HR=Heart rate at 30 seconds recovery after 5-minutes step test (Heart rate measurement using Polar), Sex: male = 1, female = 2.

역시도 높게 나타났다.

논 의

본 연구에서는 남녀 청소년들을 대상(만 13-18세)으로 실험실에서 이루어지는 최대점증부하검사(GXT)를 통해 측정된 VO₂max를 준거로 하여 현재 새롭게 개발된 Astrand-Ryhming 스텝검사 프로토콜 기반의 추정식[10]으로부터 산출된 VO₂max에 대한 일치도를 평가하고자 하였다.

Astrand-Ryhming 스텝검사에서의 측정 직후 HRmax는 남녀 모두 GXT 측정 직후의 HRmax 대비 84.1-89.5% 수준(GXT 남녀 평균 195.7±7.8 bpm vs. Step test 150.1±29.0 bpm)으로써 GXT 검사보다 낮은 운동강도 수준에서 측정이 종료되었음을 확인할 수 있었다. 만약 현장에서 이루어지는 스텝테스트의 VO₂max가 실험실에서 이루어지는 GXT에서의 VO₂max를 잘 반영한다면, 남녀노소 누구나 짧은 시간에 좁은 공간에서 실시할 수 있는 측정방법으로서[5,6] 특히, 규칙적인 신체활동을 하지 않는 남녀 청소년들을 대상으로 심폐체력을 측정할 때 안전성이라는 측면에서 유용한 측정 방법으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Astrand-Ryhming 스텝검사 프로토콜 기반의 새로운 추정식을 통해 산출된 VO₂max결과는 남녀 청소년 모두 GXT를 통해 측정된 VO₂max와 매우 유사한 것으로 나타난 반면, 기존의 Astrand-Ryhming 스텝검사 추정식을 이용하여 산출된 VO₂max 결과는 남녀 청소년 모두 7-8% 낮은 경향을 보였으나 통계적 차이는 나타나지 않았다($p=0.142$). 이러한 결과는 Astrand-Ryhming 스텝검사 프로토콜 기반의 Song et al. [10]이 개발한 새로운 추정식을 통해 산출되는 VO₂max가 본 연구에 참여한 남녀 청소년들의 VO₂max를 잘 반영하고 있음을 의미한다.

Fig. 2는 트레드밀을 이용하여 GXT를 통해 측정된 VO₂max와 기존의 Astrand-Ryhming 스텝검사 추정식[10] 그리고 Song et al. [10]이 개발한 추정식에 의해 산출된 VO₂max에 대한 Bland-Altman plot을 제시한 것이다. 기존의 Astrand-Ryhming 스텝검사 추정식 결과와는 달리 Song et al. [10]의 추정공식을 이용하여 산출된 VO₂max는 GXT를 이용하여 측정된 VO₂max와 매우 높은 일치도가 있음을 확인할 수 있었다. 아울러 본 연구에서의 일치도 검증결과에서도 GXT를 통해 측정된 VO₂max와 기존의 Astrand-Ryhming 스텝검사 추정식의 표준오차(SEE)와 상관계수(r)는 각각 7.60과 .321로 Song et al. [10]의 추정공식의 표준오차(SEE=4.95 mL·kg⁻¹·min⁻¹)와 상관계수($r=.713$)와는 많은 차이를 보였다(Fig. 2). 또한 Bland-Altman plot 결과에서도 기존의 Astrand-Ryhming 스텝검사 추정식과는 달리 Song et al. [10]의 추정공식은 95%의 신뢰도 구간내 측정에 참여한 58명 모두 VO₂max 결과가 포함됨으로써 추정결과에 대한 일치도가 확보되었음을 확인할 수 있었다(Fig. 3).

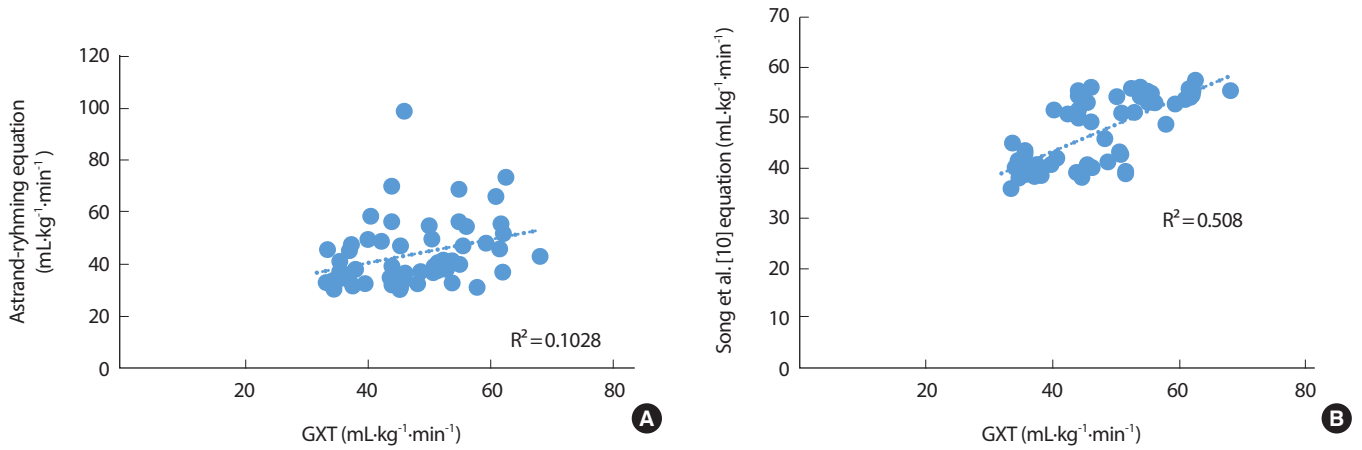


Fig. 2. (A) The relationship between GXT ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) and Astrand-ryhming equation ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). (B) The relationship between GXT ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) and Song et al. [10] equation ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). Each point represents individual values.

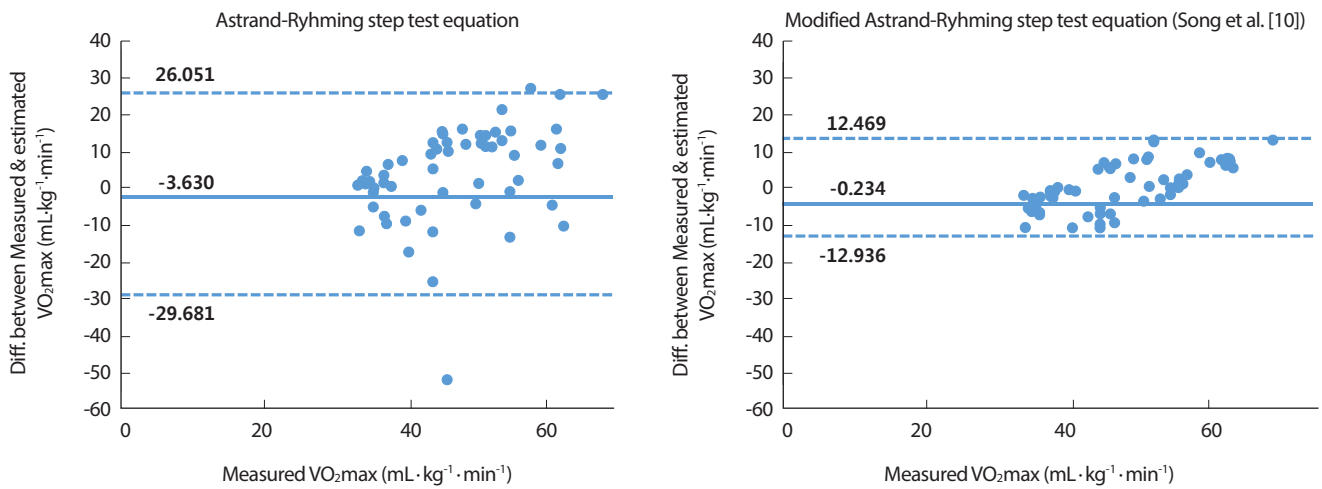


Fig. 3. Bland-Altman Plot of measured VO_2max and estimated VO_2max . The solid line represents the mean difference (bias) of the measured and estimated VO_2max . The upper and lower dashed lines are 95% confidence intervals (mean difference ± 1.96 SD).

초기 Astrand & Ryhming [12]이 발표한 Astrand-Ryhming 스텝검사의 경우, 표준오차는 0.28 L/min으로 약 3.98-4.64 $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 을 의미하는 것으로, 본 연구에서도 Song et al. [10]의 추정공식을 통해 도출된 표준오차(SEE = 4.95 $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)와 유사한 것이다. 더욱이, Astrand-Ryhming 스텝검사에 대한 추가적인 타당도나 일치도 검사가 이루어지지 않아 Astrand-Ryhming 스텝검사에 대한 직접적인 비교는 어려우나 Chester 스텝검사[15,16]의 경우, 본 연구(confidence interval = -0.93 $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)와 유사한 일치도 범위에 해당하는 -0.8-2.8 $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (confidence interval)을 제시하였고, 또한 최대 스텝검사를 이용한 VO_2max 추정값과 GXT를 통해 측정된 VO_2max 간의 유의한 상관성 ($r = .713$)을 제시한 타당도가 확보된 연구들[15-21]의 상관관계 범위 ($r = .64-.95$)에도 상응하는 것으로 나타나 Song et al. [10]이 발표한 추정식이 타당도가 확보되었음을 확인할 수 있었다. 더욱이, 대표적인 필드

테스트 중 하나인 20 m 왕복달리기의 경우 역시도, -5.7-2.4 $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 의 유사한 일치도 범위와 0.68-0.73 범위의 유사한 상관관계 수 결과 [22-28]를 보고한 바 있다.

이에 본 연구 결과를 바탕으로 성별, 체중, 회복기 30초에서의 심박수 (무선심박수 측정기 이용 회복기 30초의 심박수)를 입력하여 VO_2max 를 추정할 수 있는 Astrand-Ryhming 스텝검사 기반의 청소년 VO_2max 추정식을 사용함으로써 기존 Astrand-Ryhming 스텝검사 추정식의 추정결과에 대한 오차를 감소시키고, 보다 정확하게 한국 남녀 청소년들의 VO_2max 를 예측할 수 있을 것이다.

결론

현재의 연구결과를 토대로 새롭게 수정된 회귀식은 기존의 Astrand-

Ryhming 스텝검사 회귀식보다 더 정확하게 $VO_2\max$ 를 예측할 수 있다고 결론지을 수 있다. 따라서 새롭게 제시된 Song et al. [10]의 회귀식은 한국 남녀 청소년(만 13-18세)의 $VO_2\max$ 에 대한 보다 정확한 심폐기능 평가를 위한 방법으로서 5분간의 스텝검사에 적용하는 것을 권장한다.

향후 연구에서는 건강한 성인 집단을 포함한 노인들을 대상으로 한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

CONFLICT OF INTEREST

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

REFERENCES

1. WHO. Global Health Risks: Mortality and burden of disease attributable to selected major risks 2009.
2. Korea Centers for Disease Control and Prevention (KCDC). The 12th Korea youth risk behavior survey. Seoul. 2016. Available from: KCDC, Korea.
3. Chung JW, Ko BG, Song HS, Park SJ, Min SK, et al. Development of physical fitness center model Research Report. Korea Institute of Sport Sciences 2014.
4. Chung JW, Song HS, Park SJ, Min SK, Choi CW, et al. 국민체력 100 대체항목 개발 2015.
5. George JD, Vehrs PR, Allsen PE, Fellingham GW, Fisher AG. $VO_2\max$ estimation from a submaximal 1-mile track jog for fit college-age individuals. *Med Sci Sports Exerc.* 1993;25(3):401-6.
6. Zwiren LD, Freedson PS, Ward A, Wilke S, Rippe JM. Estimation of $O_2\max$: a comparative analysis of five exercise tests. *Res Q Exerc Sport.* 1991;62(1):73-8.
7. Cink RE, Thomas TR. Validity of the Astrand-Ryhming nomogram for predicting maximal oxygen intake. *Br J Sports Med.* 1981;15(3):182-5.
8. Baek CS. Analysis of the validity of step test by bench heights and exercise duration [thesis]. Seoul: Seoul National University 1999.
9. Kim HS. A study of validation in the use of variable bench heights in the step test [thesis]. Kyunggi-do: The University of Suwon 2000.
10. Song JR, Lee SH, Kim YJ, Kim SJ, Kim DY, et al. Development of new estimation formula based on Astrand-Ryhming step test protocol for $VO_2\max$ evaluation of adolescents (13-18 years). *Exerc Sci.* 2018;27(1):71-9.
11. Gellish RL, Goslin BR, Olson RE, McDonald A, Russi GD, et al. Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(5):822-9.
12. Astrand PO, Ryhming I. A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J Appl Physiol.* 1954;7(2):218-21.
13. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986;8:307-10.
14. Bland JM, Altman DG. Comparing methods of measurement: Why plotting difference against standard method is misleading. *Lancet.* 1995;346:1085-7.
15. Buckley J, Sim J, Eston R, Hession R, Fox R. Reliability and validity of measures taken during the Chester step test to predict aerobic power and to prescribe aerobic exercise. *Br J Sports Med.* 2004;38(2):197-205.
16. Sykes K, Roberts A. The Chester step test—a simple yet effective tool for aerobic capacity. *Physiotherapy.* 2004;90(1):183-8.
17. Chatterjee S, Chatterjee P, Mukherjee PS, Bandyopadhyay A. Validity of Queen's College step test for use with young Indian men. *Br J Sports Med.* 2004;38(3):289-91.
18. Knight E, Stuckey MI, Petrella RJ. Validation of the step test and exercise prescription tool for adults. *Can J Diabetes.* 2014;38(3):164-71.
19. McArdle WD, Katch FI, Pechar GS, Jacobson L, Ruck S. Reliability and interrelationships between maximal oxygen intake, physical work capacity and step-test scores in college women. *Med Sci Sports.* 1972;4(4):182-6.
20. Santo AS, Golding LA. Predicting maximum oxygen uptake from a modified 3-minute step test. *Res Q Exerc Sport.* 2003;74(1):110-5.
21. Beutner F, Ubrich R, Zachariae S, Engel C, Sandri M, et al. Validation of a brief step-test protocol for estimation of peak oxygen uptake. *Eur J Prev Cardiol.* 2015;22(4):503-12.
22. Aandstad A, Holme I, Berntsen S, Anderssen SA. Validity and reliability of the 20 meter shuttle run test in military personnel. *Mil Med.* 2011;176(5):513-8.
23. Flouris AD, Metsios GS, Koutedakis Y. Enhancing the efficacy of the 20 m multistage shuttle run test. *Br J Sports Med.* 2005;39(3):166-70.
24. Léger L, Gadoury C. Validity of the 20 m shuttle run test with 1 min stages to predict $VO_2\max$ in adults. *Can J Sport Sci.* 1989;14(1):21-6.
25. Léger LA, Mercier D, Gadoury C, Lambert J. The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *J Sports Sci.* 1988;6(2):93-101.
26. Mahar MT, Guerieri AM, Hanna MS, Kemble CD. Estimation of aerobic fitness from 20-m multistage shuttle run test performance. *Am J*

- Prev Med. 2011t;41(4 Suppl 2):S117-23.
27. Ramsbottom R, Brewer J, Williams C. A progressive shuttle run test to estimate maximal oxygen uptake. *Br J Sports Med.* 1988;22(4):141-4.
28. Stickland MK, Petersen SR, Bouffard M. Prediction of maximal aerobic power from the 20-m multi-stage shuttle run test. *Can J Appl Physiol.* 2003;28(2):272-82.