

# 남녀 청소년들(13-18세)의 VO<sub>2</sub>max 평가를 위한 Astrand-Ryhming 스텝검사 프로토콜을 기반으로 한 새로운 추정식 개발

송정란<sup>1</sup>, 이상현<sup>1</sup>, 김양중<sup>1</sup>, 김수진<sup>1</sup>, 김도윤<sup>1</sup>, 김창선<sup>2</sup>, 박동호<sup>1</sup>

<sup>1</sup>인하대학교 스포츠과학과, <sup>2</sup>동덕여자대학교 체육학과

## Development of New Estimation Formula Based on Astrand-Ryhming Step Test Protocol for VO<sub>2</sub>max Evaluation of Adolescents (13-18 years)

Jung-Ran Song<sup>1</sup>, Sang-Hyun Lee<sup>1</sup>, Yang-Jung Kim<sup>1</sup>, Su-Jin Kim<sup>1</sup>, Do-Yun Kim<sup>1</sup>, Chang-Sun Kim<sup>2</sup>, Dong-Ho Park<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Kinesiology, Inha University, Incheon; <sup>2</sup>Department of Physical Education, Dongduk Women's University, Seoul, Korea

**PURPOSE:** To develop and validate regression models to estimate maximal oxygen uptake (VO<sub>2</sub>max) from the new estimation formula based on Astrand-Ryhming step test protocol (AR protocol) in Korean male and female youths aged 13-18 years.

**METHODS:** One hundred twenty participants performed maximal graded exercise test (GXT) on a treadmill and Astrand-Ryhming step test (AR test) to measure VO<sub>2</sub>max and VO<sub>2</sub>max estimates, respectively. Participants in the validation study performed the GXT with the stationary metabolic cart and the Astrand-Ryhming step test twice for test-retest reliability. All tests were conducted at least three days apart and in a random order.

**RESULTS:** Mean calculated VO<sub>2</sub>max (40.43 ± 11.57 mL/kg/min) from the Astrand-Ryhming step test equation was significantly low from that measured during the GXT from stationary metabolic cart (47.32 ± 8.75 mL/kg/min, *p* < .01). New regression equations were developed from present data to predict VO<sub>2</sub>max for male and female youths:  $y = (-13.963 \times \text{sex}) - (0.216 \times W) - (0.072 \times \text{HR}) + 91.296$  (*r* = .772, SEE = 5.64 mL/kg/min). The VO<sub>2</sub>max (47.22 ± 6.76 mL/kg/min) of modified Astrand-Ryhming step test equation showed no significant difference from the VO<sub>2</sub>max measured through GXT.

**CONCLUSIONS:** It is concluded that this equation developed in this study provides valid estimates of VO<sub>2</sub>max of 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:** VO<sub>2</sub>max, Step test, Validity, Reliability, Youths

## 서론

최근 산업 및 경제 발달에 의한 사회변화와 신체활동의 감소현상은 아동과 청소년의 체력 및 건강 저하를 야기하고 있다. 이러한 청소년 체력 및 건강에 대한 심각성을 이미 경험한 몇몇 선진국들은 청소년기 신체활동의 유익함과 필요성을 인식하고 국가적 차원의 청소년 체력

및 건강 증진 프로그램인 FITNESSGRAM, EROFIT, Trim & Fit program, The New PE 등을 개발하여 운영하고 있다[1]. 이에 국내에서도 2008년부터 청소년들의 체력저하 및 건강증진을 위한 방안으로써 맞춤형 학생 건강체력 평가 시스템(physical activity promotion system, PAPS)을 개발, 운영 중에 있다. PAPS에서 측정되는 체력요인들 중 심폐지구력은 학생들에게 가장 중요한 체력요인으로 평가될 수 있으며,

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

\*이 논문은 2014년도 정부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2014S1A5A2A01014312).

**Keywords** VO<sub>2</sub>max, 스텝테스트, 유효성, 신뢰성, 청소년

**Received** 14 Jan 2018 **Revised** 29 Jan 2018 **Accepted** 5 Feb 2018

© 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.

이러한 심폐지구력 측정을 위하여 스텝검사(step test), 오래달리기-걷기, 왕복오래달리기 검사(20 m progressive shuttle run test, 20 m PSRT)를 시행하고 있다[2].

이들 심폐지구력 측정을 위한 필드 검사 중 스텝검사(step test)는 유산소성 운동능력을 추정하는 가장 간편한 측정방법일 뿐만 아니라 남녀노소 누구나 짧은 시간에 좁은 공간에서 실시할 수 있는 측정방법으로써 개인별, 성별 등에 따라 적절한 운동강도(속도 및 스텝높이)를 조절하기가 용이하여 인터벌 트레이닝으로도 활용되며, 일반인의 건강관련 운동을 위한 유용한 방법으로도 인정되고 있다[3,4]. 특히, 많은 수의 대상자를 좁은 공간에서 측정할 수밖에 없는 경우에 스텝검사가 주로 활용되고 있다. 더욱이 스텝검사 측정에 소요되는 장비, 인력, 시간 등에서 매우 경제적이며 효율적인 방법으로써 다른 심폐지구력 측정방법에 비해 비교적 타당도 및 신뢰도가 높고 최대점증운동부하검사(graded exercise test, GXT)와 같은 실험실 검사에 비해 대상자의 순응도가 높다[5].

스텝검사는 스텝높이(수직높이)뿐만 아니라 수행속도(beat/min)를 통한 운동강도 조절이 가능한 운동검사방법으로써 최대심박수의 80% 수준까지 수행하는 최대운동검사 방법으로 진행된다[5]. 현재 일선 학교현장에서 가장 많이 사용되고 있는 스텝검사 방법으로는 Harvard 스텝검사, Astrand-Ryhming 스텝검사, YMCA 스텝검사 등이 있으며, 스텝검사별로 스텝박스의 높이, 실시 속도, 시간 등이 다르게 구성되어 사용된다. 그 중 Astrand-Ryhming 스텝검사의 경우 남녀별로 스텝박스의 높이를 40 cm와 33 cm로 다르게 실시하며, 분당 23 step/min의 속도로 5분간 실시한 다음 운동종료 후 1분 동안의 심박수를 이용하여 대상자의  $VO_2max$ 를 추정한다[6]. 반면, Harvard 스텝검사는 남녀 모두 스텝박스의 높이를 50 cm로 고정하여 실시함으로써 남녀간의 신장 차이 및 신장이 작은 대상자에 대한 상대적 운동량 증가 등을 고려하지 않았다. 또한 YMCA 스텝검사는 남녀 모두 동일하게 31 cm 높이의 스텝박스를 이용하지만 최근 청소년들의 신장을 고려할 경우, 낮은 운동부하를 제공하는 등 Astrand-Ryhming 스텝검사를 제외한 Harvard 스텝검사, YMCA 스텝검사 실시 방법은 우리나라 청소년들의 신체적 특성 및 남녀 간의 신장차이를 충분히 고려하지 않은 단점이 있다[7].

일반적으로 스텝검사의 경우, 가장 우선시 되는 것은 대상자의 신장 차이에 근거한 스텝높이로써 스텝박스의 높이가 적절하지 않을 경우 측정결과에 대한 신뢰도가 떨어질 수 있기 때문에 남녀 간의 스텝박스에 대한 차이가 고려될 필요성이 있다. Back [7]은 남자 중학생을 대상으로 스텝높이와 스텝속도에 따른  $VO_2max$ 의 차이를 비교한 연구에서 45 cm 스텝박스 높이에서 30회/분 속도로 수행했을 때 추정된  $VO_2max$ 와 GXT 검사를 통해 실측된  $VO_2max$  간 가장 높은 상관관계가 있었음을 보고하였으며, 이는 스텝검사 중 스텝박스의 높이에 따라 대상자의 심폐지구력 평가가 달라질 수 있음을 의미한다. 그럼에도 불구하고

한국스포츠개발원에서 선정한 YMCA검사의 경우 스텝박스의 높이를 남녀 모두 30.5 cm로 설정함으로써 남녀 간 신장의 차이를 충분히 고려하지 못한 스텝검사방법으로 판단된다. 더욱이, 한국스포츠개발원의 YMCA 스텝검사  $VO_2max$  산출공식은 청소년이 아닌, 성인을 대상으로 추정된 공식으로써 19세 이하 청소년들에게 스텝검사를 통한  $VO_2max$  추정식을 그대로 적용하기에는 다소 무리가 있다.

반면, Astrand-Ryhming 스텝검사 방법에 기반한  $VO_2max$  추정방법은 대상자 개인별 체중과 심박수 반응을 기반으로  $VO_2max$ 를 추정하기 때문에 개인의 신체적, 체력적 특성이 충분히 반영된  $VO_2max$ 를 추정할 결과로 사료된다. 다만, 현재 사용 중인 Astrand-Ryhming 스텝검사  $VO_2max$  추정식은 1953년에 20대 성인 남녀를 대상으로 추정식이 개발되었기 때문에 외국 성인을 대상으로 한  $VO_2max$  추정식을 한국 청소년들에게 적용하기에는 한계가 있을 것으로 판단된다. 더욱이, 국내에서는 남녀 간 스텝높이의 차이를 둔 Astrand-Ryhming 스텝검사를 이용하여 청소년을 대상으로 추정결과에 대한 타당도 검증이 진행된 바가 없다.

이에 본 연구에서는 남녀 청소년들을 대상으로 실험실에서 이루어지는 최대점증부하검사(GXT)를 통해 측정된  $VO_2max$ 를 준거로 하여 현재 학교 현장에서 실시하고 있는 Astrand-Ryhming 스텝검사 추정식으로부터 산출된  $VO_2max$ 에 대한 타당도 검증을 실시하고, 이를 바탕으로 남녀 청소년들의  $VO_2max$ 를 보다 정확하게 예측하기 위하여 Astrand-Ryhming 스텝검사 기반의 타당도와 신뢰도가 확보된  $VO_2max$  추정식을 개발, 제시하고자 한다.

## 연구 방법

### 1. 연구대상

본 연구에서는 1시 소재 남녀 중고등학생 각 10명씩 총 120명을 선정(성별 2개, 중고등학생 각 3개 학년: 10명×2남녀×6학년)하였으나 측정과정 중 다양한 사유로 중도 포기한 10명의 학생들을 제외한 110명(탈락률 8.33%)이 본 연구에 참여하였다. 이 연구에 참여한 대상자의 대상자 선별 조건으로는, 첫째, 심혈관질환이나 대사성 질환, 근골격계 질환이 없는 건강한 자. 둘째, 비흡연자. 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 참

여한 남녀 학년별 대상자들의 특성은 Table 1과 같다.

## 2. 연구절차

본 연구는 Fig. 1에서처럼, 1, 2단계로 구분하여 진행하였다. 1단계 측정에는 기존의 Astrand-Ryhming 스텝검사를 이용한 VO<sub>2</sub>max 추정식에 대한 타당도 검정을 실시하기 위하여 트레드밀을 이용한 최대점증은 동부하검사(GXT)를 실시하였다. 즉, 트레드밀을 이용하여 GXT에서 얻은 VO<sub>2</sub>max를 준거로 하고 기존 Astrand-Ryhming 스텝검사의 추정식을 이용하여 산출된 VO<sub>2</sub>max 추정값에 대한 차이를 검증함으로써 현재 국내에서 사용 중인 1) Astrand-Ryhming 스텝검사의 VO<sub>2</sub>max 추정식에 대한 타당도 검정을 실시하고, 2) 트레드밀을 이용한 GXT에서 얻은 VO<sub>2</sub>max를 준거로 새로운 스텝검사에 사용할 수 있는 VO<sub>2</sub>max 추정식을 개발하였다.

2단계 측정에서는 1단계에서 개발된 스텝검사 추정식에 대한 신뢰

**Table 1.** Subject characteristics

Variables	Males (n=55)	Females (n=55)	Total (n=110)
Age (yr)	14.86 ± 1.55	15.02 ± 1.38	14.94 ± 1.46
Height (cm)	170.62 ± 6.56	159.26 ± 5.41	164.75 ± 8.26
Weight (kg)	62.67 ± 9.90	53.48 ± 8.27	57.92 ± 10.16
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	21.45 ± 2.69	21.05 ± 2.81	21.24 ± 2.75
LBM (kg)	52.84 ± 5.66	37.91 ± 3.57	45.12 ± 8.83
Body fat (%)	16.35 ± 7.87	25.82 ± 9.19	21.25 ± 9.78
Waist circumference	73.69 ± 7.59	69.38 ± 7.80	71.46 ± 7.96
Hip circumference	93.29 ± 6.04	92.69 ± 6.80	92.98 ± 6.42
Waist-hip ratio	0.79 ± 0.05	0.75 ± 0.05	0.77 ± 0.05
HRmax	196.95 ± 1.04	196.83 ± 0.93	196.89 ± 0.98

Values are means ± SD.  
 BMI, body mass index; LBM, lean body mass.  
 HRmax: 206.9-[0.67 × age] [8].

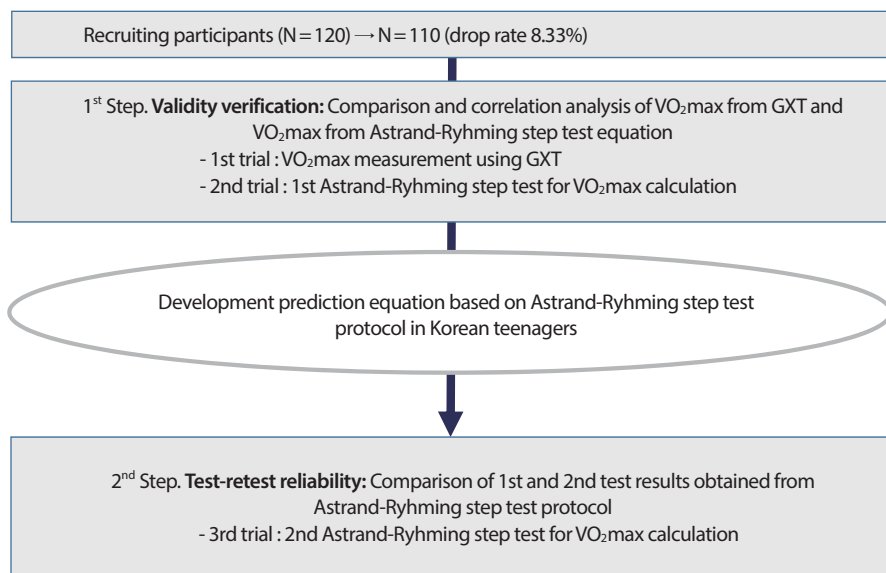
도를 검증하는 단계로써 1단계의 측정에 참여한 대상자들이 Astrand-Ryhming 스텝검사를 반복하여 재측정하였다. 이때 스텝검사 회귀식의 투입변인인 회복기의 심박수, 체중 및 성별에 대한 1차, 2차 추정 VO<sub>2</sub>max 결과에 대한 차이검증을 바탕으로 신뢰도를 평가하였다.

### 1) 체격 및 인체조성 측정

신장과 체중은 반바지와 티셔츠를 입은 상태에서 측정기(TBF2002, Tanita Co., Japan)를 이용하여 각각 0.1 cm와 0.1 kg 단위까지 측정하였다. 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 VO<sub>2</sub>max 측정

대상자들은 무선 심박측정기(POLAR, Newyork, USA)를 착용하고 10분 동안 안정을 취한 후 트레드밀을 이용하여 VO<sub>2</sub>max를 측정하였다(Parvo Medics True One 2400, USA). GXT를 이용한 VO<sub>2</sub>max의 측정은 일반 성인 여성 또는 남성을 대상으로 하는 KSSI protocol (체육과학연구원)을 수정하여 측정하였다. 본 프로토콜의 최초 운동 시작 부하속도를 5.0 km/h, 경사도 3% (남녀 모두)에서 2분간 실시하고 이후 단계별 부하 증가는 경사도를 고정(남녀 모두 3%)한 상태에서 속도만 2분마다 1.5 km/h씩 점증적으로 증가시킨다. 운동 중에는 심박수, 호흡 교환율, 운동자각도, 산소섭취량 등을 체크하면서 달리기 지속 여부를 수시로 확인하고, 대상자가 더 이상 운동을 지속하지 못하는 상태(all-out)까지 지속시켰다. VO<sub>2</sub>max는 운동 부하가 증가됨에도 불구하고 산소섭취량(VO<sub>2</sub>)의 수준이 항정 상태일 때로, 이때 운동 중 심박수가 나이로 추정된 최대심박수(206.9-[0.67 × age]) [8]의 ± 10 bpm 이내에 있을



**Fig. 1.** Research procedure.

때 그리고 호흡교환율(RER)>1.1이거나 운동자각도가 17 이상일 때로 간주하였다.

**3) Astrand-Ryhming 스텝검사 및 이를 이용한 VO<sub>2</sub>max 추정값 산출**

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 안정시 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 안정시부터 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 다음의 Astrand-Ryhming 스텝검사 VO<sub>2</sub>max 추정공식을 이용하여 VO<sub>2</sub>max 추정값을 산출하였다[9].

- 남성:  $VO_2max (L/min) = 3.744 \times [(체중+5)/(심박수 \times -62)]$

- 여성:  $VO_2max (L/min) = 3.750 \times [(체중-3)/(심박수 \times -65)]$

\*심박수: 실제 Astrand-Ryhming 스텝검사 VO<sub>2</sub>max 추정공식에서 사용된 심박수는 검사종료 후 15초부터 30초까지의 심박수를 측정한

후 4를 곱하여 분당 심박수를 산출하였으나 본 연구에서는 운동종료 후 회복기 30초의 심박수를 사용함(Polar를 이용한 심박수 측정값). VO<sub>2</sub>max (L/min)를 VO<sub>2</sub>max (mL/kg/min)로 변환하기 위해서는, 체중(kg)으로 나눈 후 1,000을 곱함.

스텝검사 시 관찰변인으로는 대상자들의 운동반응 변인 단계별 심박수(측정시 및 회복기 등), 총일량 등이며, 스텝검사의 신뢰도를 확인하기 위하여 1차 스텝검사 후 2차 스텝검사를 실시하였다. 1차와 2차의 스텝검사는 최소 3일에서 1주일 간격을 두고 재측정하였다.

**3. 자료처리방법**

본 연구의 자료처리를 위하여 통계프로그램 SPSS 22.0을 이용하여 각 변인들의 평균과 표준편차를 산출하였다. GXT를 이용하여 측정된 VO<sub>2</sub>max 결과를 바탕으로 Astrand-Ryhming 추정 VO<sub>2</sub>max 간 차이비교 및 반복측정을 통한 상관분석을 통해 기존 VO<sub>2</sub>max 추정식에 대한 타당도와 신뢰도 검증을 실시하였다. 아울러 수정된 VO<sub>2</sub>max 추정식 개발을 위하여 Astrand-Ryhming 스텝검사 시의 운동반응 변인들(안정시 심박수, 검사 중 분당 심박수, 스텝박스 높이, 종료직후 5초 단위 평균 심박수)와 신체특성 변인(성별, 신장, 체중, 체지방률, BMI 등) 그리고 트레드밀에서의 최대점증부하검사에서 얻은 VO<sub>2</sub>max 간의 상관분석을 실시한 후 요인 간의 상관성을 바탕으로 스텝검사 시 VO<sub>2</sub>max를 추정할 수 있는 다중회귀분석(multiple linear regression analysis)을 실시하였다. 본 연구에서의 모든 통계적 유의수준(α)은 .05로 설정하였다.

**연구결과**

**1. 트레드밀에서의 GXT와 Astrand-Ryhming 스텝검사 관련 측정변인 결과**

본 연구에서는 대상자들의 정확한 VO<sub>2</sub>max 측정을 위하여 실험실에서 트레드밀을 이용하여 GXT를 통해 VO<sub>2</sub>max를 측정하였고 또한,

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

Sex	GXT				Astrand-Ryhming step test		
	VO <sub>2</sub> max (mL/kg/min)	Duration time (min)	Speed (km/h)	HR <sub>max</sub> (beat/min)	Predicted VO <sub>2</sub> max (mL/kg/min)	HR at 30 sec recovery (beat/min)	Total work (kg/m)
Male (n=55)	53.95±6.41 <sup>***</sup>	10.78±1.84	11.55±1.36	197.06±8.81	43.60±14.01	157.57±21.66	3,844.01±607.35
Female (n=55)	41.39±5.82 <sup>***</sup>	8.59±1.79	9.99±1.42	194.69±6.07	35.80±5.83	162.82±13.97	2,706.26±418.64
Total (n=110)	47.32±8.75 <sup>***</sup>	9.63±2.11	10.73±1.59	195.81±7.55	40.43±11.57	160.28±18.21	3,255.52±769.66

Values are means ± SD.

\*p < .05; \*\*p < .01; \*\*\*Difference from VO<sub>2</sub>max predicted by Astrand-Ryhming estimation equation.

※ Astrand-Ryhming VO<sub>2</sub>max prediction; Male :  $VO_2max (mL/kg/min) = (3.744 \times [(Weight+5)/(heart rate-62)]) / Weight \times 1,000$ ; Female:  $VO_2max (mL/kg/min) = (3.750 \times [(weight-3)/(heart rate-65)]) / Weight \times 1,000$ .

• Heart rate: Heart rate at 30 s recovery after exercise (Heart rate measurement using Polar).



Astrand-Ryhming 스텝검사를 실시한 후 기존의 VO<sub>2</sub>max 추정공식을 활용하여 VO<sub>2</sub>max를 산출하였다(Table 2).

GXT 시 운동 종료직후 남녀 평균 최대심박수는 195.8 (±7.55 beat/min)로써 공식에 의한 산출된 최대심박수(남녀 평균 196.89±0.98 bpm)에 준하는 운동강도에서 운동이 종료되었음을 확인할 수 있었다. 아울러 운동이 종료된 시간에 있어서도 남학생들은 평균 5단계(단계별 운동지속시간 2분) 이상에서 운동이 종료된 반면, 여학생들은 이보다 짧은 최소 3단계부터 5단계까지의 구간에서 운동이 종료된 것으로 나타났다. VO<sub>2</sub>max 또한 여학생보다 남학생들이 약 30.3% 더 높은 결과(남 53.95 vs. 41.39 mL/kg/min)를 보였다.

반면 Astrand-Ryhming 스텝검사 측정결과에서는 운동종료 직후 심박수는 남녀 모두 최대심박수 대비 85-90% 수준(GXT 남녀 평균 195.8 ± 0.98 bpm vs. Step test 172.3 ± 17.2 bpm)으로써 GXT 검사보다 낮은 운동강도 수준에서 운동이 종료되었음을 확인할 수 있었으며, 산출식에 사용된 운동종료 후 회복기 30초의 심박수는 Table 2와 같다. 더욱이 회복기 30초의 심박수를 이용하여 Astrand-Ryhming 스텝검사 추정식을 통해 산출된 VO<sub>2</sub>max 결과에서는 남자의 경우 43.6 mL/kg/min 그리고 여자의 경우 35.8 mL/kg/min로 나와 GXT에서 얻은 VO<sub>2</sub>max 실측값(남 53.95 ± 6.41, 여 41.39 ± 5.82 mL/kg/min)보다 매우 낮은 것으로 나타났다( $p < .01$ ,  $p < .01$ ). 즉, 기존의 Astrand-Ryhming 스텝검사의 추정식을 통해 산출되는 VO<sub>2</sub>max는 본 연구에 참여한 남자 청소년들의 VO<sub>2</sub>max를 정확하게 반영하고 있지 못함을 확인할 수 있었다.

## 2. GXT 통해 측정된 VO<sub>2</sub>max를 준거로 한 수정된 Astrand-Ryhming 스텝검사 VO<sub>2</sub>max 추정식의 개발

본 연구에서는 트레드밀을 이용하여 측정된 VO<sub>2</sub>max를 추정하기 위한 방법으로 다중회귀분석을 이용하였다. 이를 위해 대상자들의 신체적 특성뿐만 아니라 Astrand-Ryhming 스텝검사에서의 측정된 모든 운동관련 신체반응 변인들과 신체적 특성 변인에 대하여 트레드밀을 이용하여 측정된 VO<sub>2</sub>max와 상관분석을 실시하였다. 신체특성 변인과 관련해서는 남녀 모두 공통적으로 체중, BMI, 허리둘레가 측정된 VO<sub>2</sub>max와 유의한 부적상관성이 있는 것으로 나타났고( $p < .05$ ) 남학생의 % fat은 측정된 VO<sub>2</sub>max와 유의한 부적상관성이 있었으며( $p < .05$ ), 여학생의 경우는 WHR이 측정된 VO<sub>2</sub>max와 부적상관성( $p < .05$ )이 있는 등 남녀별로 유의한 상관성을 갖는 신체특성 변인의 종류에는 차이가 있었다(Table 3).

Astrand-Ryhming 스텝검사 중 측정된 생리적 반응 변인들과의 상관결과에서는 남학생들의 경우, 총일량( $r = -.374$ )과 GXT의 VO<sub>2</sub>max와 유의한 부적상관성이 있었던 반면, 여학생들은 운동 중 3분에서의 심박수( $r = -.280$ ) 및 측정 종료 후 회복기 1분에서의 심박수( $r = -.284$ )와 유의한 부적상관성이 나타났다.

**Table 3.** Correlation between measured variables in Astrand-Ryhming step test and VO<sub>2</sub>max obtained from GXT

Classification	Variables	VO <sub>2</sub> max (GXT)	
		Male (n=55)	Female (n=55)
Physical characteristics	Age (yr)	.163	-.228
	Height (cm)	-.165	-.149
	Weight (kg)	-.374*	-.318*
	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	-.391*	-.289*
	% fat	-.452*	-.206
	WHR	-.150	-.269*
	Waist circumference	-.338*	-.280*
	Hip circumference	-.410*	-.180
	Physiological response in step test	HR at 1 min	.033
HR at 2 min		-.049	-.214
HR at 3 min		-.089	-.280*
HR at 4 min		-.055	-.236
HR immediately after exercise		-.069	-.219
HR at 30 sec recovery		-.146	-.189
HR at 1 min recovery		-.223	-.284*
HR at 90 sec recovery		-.176	-.245
HR at 2 min recovery		-.191	-.259
Total work		-.374*	-.208

HR, heart rate; BMI, body mass index; WHR, waist hip ratio.  
\* $p < .05$ .

트레드밀을 이용하여 측정된 VO<sub>2</sub>max와 상관성을 보인 신체특성 변인들(체중, 키, BMI, 체지방률)과 Astrand-Ryhming 스텝검사 시 측정된 운동반응 변인들(분단위별 심박수, 총일량 등)을 활용하여 VO<sub>2</sub>max (mL/kg/min)를 추정할 수 있는 VO<sub>2</sub>max 추정 공식을 개발하기 위하여 다중회귀분석을 실시하였다. 중다회귀분석 결과, Astrand-Ryhming 스텝검사 VO<sub>2</sub>max 추정식에는 남녀 성별, 체중(kg)과 회복기 1분의 심박수(beat/min) 변인이 독립변인으로 함께 투입되었을 때 종속변인인 GXT VO<sub>2</sub>max (mL/kg/min)를 가장 잘 대변하는 것으로 나타났다. 회귀분석을 통해 얻은 수정된 Astrand-Ryhming 스텝검사 VO<sub>2</sub>max 추정 공식 및 본 회귀 모형에 대한 요약은 Table 4와 같다.

본 연구의 회귀분석 결과에서는 남자 40 cm, 여자 33 cm 스텝 높이에서 5분 동안 23회/분의 속도로 지속되는 Astrand-Ryhming 스텝검사를 통해 트레드밀을 이용하여 측정된 VO<sub>2</sub>max를 예측할 수 있는 추정식을 도출하였다( $p < .05$ ). 본 연구에서 도출된 VO<sub>2</sub>max 추정식을 활용할 경우, 트레드밀을 이용하여 측정된 VO<sub>2</sub>max와 추정식을 이용한 VO<sub>2</sub>max 예측값 간의 차를 나타내는 추정값의 표준오차(standard error of the estimate: SEE)는 5.64 mL/kg/min으로써, 측정된 VO<sub>2</sub>max와 추정된 VO<sub>2</sub>max 간 .772의 유의한 상관성이 있는 것으로 나타났다( $p < .01$ ) (Table 4).

또한 Astrand-Ryhming 스텝검사 protocol을 이용하여 새롭게 개발된 VO<sub>2</sub>max 추정식의 타당도 검증은 위하여 1차 스텝검사 결과에서의 투입변인(체중, 회복기 1분 심박수, 성별)을 이용하여 추정된 VO<sub>2</sub>max

**Table 4.** Summary of modified Astrand-Ryhming step test VO<sub>2</sub>max estimation formula and the regression model obtained by regression analysis

VO <sub>2</sub> max equation (mL/kg/min)	R	R <sup>2</sup>	SEE	F	p
$y = (-13.963 \times \text{sex}) - (0.216 \times W) - (0.072 \times \text{HR}) + 91.296$	.772	.597	5.64	52.278	.000

y, VO<sub>2</sub>max (mL/kg/min); sex, male 1, female 2; W, weight (kg); HR (beat/min), recovery 1 minute after step test in sitting position (polar measurement); R, correlation coefficient; R<sup>2</sup>, Contribution rate; SEE, Standard error of estimate.

**Table 5.** Validity and test-retest reliability of the developed VO<sub>2</sub>max estimation equation based on the modified Astrand-Ryhming step test

Sex	VO <sub>2</sub> max (mL/kg/min)			F	p	PC
	GXT	New equation (1 <sup>st</sup> Step test)	New equation (2 <sup>nd</sup> Step test)			
Male (n=55)	53.95±6.41	53.96±2.75*	54.07±2.67*	.014	.986	.844**
Female (n=55)	41.39±5.82	41.40±2.23*	41.76±2.21*	.253	.777	.748**
Total (n=110)	47.25±8.79	47.22±6.76*	47.46±6.62*	.172	.679	.849**

Values are means ± SD. No significant difference between VO<sub>2</sub>max measured by GXT and VO<sub>2</sub>max calculated by new equation of Step test.

PC, Pearson correlation between 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> Step test.

\*p < .05; \*\*p < .01.

와 트레드밀을 이용하여 측정된 VO<sub>2</sub>max와의 차이검증(대응표본 t-test)을 실시하였다. 결과에 따르면, 남녀 모두 측정된 VO<sub>2</sub>max와 Astrand-Ryhming 스텝검사 기반으로 새롭게 개발된 추정식의 VO<sub>2</sub>max 간 유의한 차이는 없는 것으로 나타나(p > .05) 추정식의 타당도가 확보된 것으로 판단된다(Table 5).

### 3. Astrand-Ryhming 스텝검사 기반의 한국형 청소년 VO<sub>2</sub>max 추정식의 신뢰도 결과

본 연구에서는 개발된 추정식을 통해 산출된 추정결과에 대한 신뢰도 검증을 위하여 1차 실험에 참여한 동일 대상자에 대해 2차 Astrand-Ryhming 스텝검사를 실시하였다. 2차 Astrand-Ryhming 스텝검사 에서 측정된 입력변인(성별, 체중, 회복기 1분 심박수)을 바탕으로 추정된 VO<sub>2</sub>max를 산출하였으며, 산출된 1차와 2차 VO<sub>2</sub>max 추정값 간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 더욱이 1차와 2차 측정 간의 상관계수(r)는 .849로 매우 높은 상관을 보여 반복측정에 대한 신뢰도가 확보된 것으로 판단된다(Table 5).

## 논 의

본 연구는 만 13-18세의 청소년을 대상으로 학교나 센터 등에서 이들의 심폐지구력을 보다 정확하게 평가할 수 있는 Astrand-Ryhming 스텝검사 프로토콜 기반의 한국형 스텝검사 VO<sub>2</sub>max 추정식을 개발하고자 하였다.

### 1. GXT를 이용한 VO<sub>2</sub>max 측정과 Astrand-Ryhming 스텝검사 관련 변인

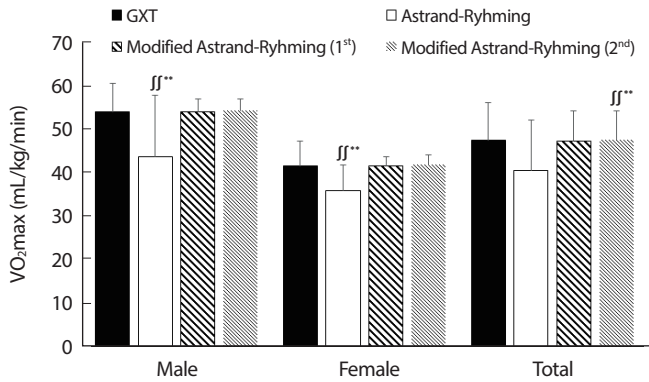
본 연구에서는 한국 청소년에게 적합한 스텝검사 추정식을 개발하

기 위하여 트레드밀을 이용하여 최대점증부하운동검사(GXT)를 통해 측정된 VO<sub>2</sub>max를 준거로 설정하였다. 트레드밀을 이용하여 측정된 VO<sub>2</sub>max의 경우, 여학생보다 남학생이 평균 10 mL/kg/min (30.3%) 이상 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 남녀 성별에 따른 체격적 열세에 따른 좌심실의 크기와 혈액량이 적고 또한 생리적 특성 차이(호르몬, 근육량, 체지방량, 헤모글로빈 함량 등)와 낮은 여학생들의 신체 활동 참여율 등[10]이 본 연구에서 측정된 VO<sub>2</sub>max 측정결과에 반영된 것으로 사료된다.

Astrand-Ryhming 스텝검사와 관련하여 운동이 종료된 직후 심박수 결과에서 남학생과 여학생 모두 GXT 종료직후의 심박수보다 낮게 나타났다. 남자의 경우 85.8% (168.9±19.79 bpm), 여자는 89.7% (175.4±13.9 bpm)에 해당하는 것이었다. 본 연구에서 사용한 Astrand-Ryhming 스텝검사 protocol은 최대하 운동부하방법으로써 최대심박수 대비 70-85%까지 운동을 지속한 후 심박수 대비 대상자의 최대수준의 심폐 능력을 예측하는 방법으로[6], 운동종료 시 운동강도가 70% 이하일 경우 운동 중 신체기능의 변화가 의미 있는 자료로 인정되기 어려우며, 추정 결과 또한 높은 오차율을 보일 수 있다[6]. 그러나 본 연구에서의 Astrand-Ryhming 스텝검사 종료직후 대상자들의 심박수 반응은 최대 심박수 대비 85.8-89.7% 수준으로써 최대하운동부하검사를 위한 목표 심박수 조건을 모두 충족시켰음을 확인할 수 있었다.

### 2. 트레드밀에서 측정된 VO<sub>2</sub>max와 기존의 Astrand-Ryhming 스텝검사 추정식을 이용하여 산출된 VO<sub>2</sub>max 간의 차이

남녀 각각 그리고 남녀 평균 모두 Astrand-Ryhming 추정식에 의해 산출된 VO<sub>2</sub>max가 트레드밀에서 측정된 VO<sub>2</sub>max보다 유의하게 낮았다(p < .01). Astrand & Ryhming [9]은 18명의 성인 남성을 대상으로 GXT에서 측정된 VO<sub>2</sub>max와 스텝검사를 통해 산출된 VO<sub>2</sub>max와의 표준오



**Fig. 2.** The difference between the VO<sub>2</sub>max measured value obtained from GXT and the VO<sub>2</sub>max predicted value calculated by the estimation equations. Values are means  $\pm$  SD. \* $p < .05$ ; \*\* $p < .01$ ; <sup>||</sup>Difference from measured VO<sub>2</sub>max and VO<sub>2</sub>max predicted by modified Astrand-Ryhming estimation equation.

차는 약 0.28 L/min (6.8%)으로 나타났다. 하지만 본 연구에서의 트레드밀에서 측정된 VO<sub>2</sub>max와 Astrand-Ryhming 추정식을 이용하여 산출된 VO<sub>2</sub>max 차이는 남자의 경우, 추정식에 의해 산출된 VO<sub>2</sub>max는 트레드밀에서 측정된 VO<sub>2</sub>max에 비해 19.2% (10.4 mL/kg/min) 낮은 수준으로 나타났으며, 여자는 측정된 VO<sub>2</sub>max에 비해 17.1% (7.1 mL/kg/min) 낮은 것으로 나타나 남녀 평균 약 14.4% (47.3  $\pm$  8.8 mL/kg/min vs. 40.4  $\pm$  11.6 mL/kg/min) 낮았다(Fig. 2).

이러한 결과는 Astrand-Ryhming [9]의 결과와 차이가 있었으며, 또한 Astrand-Ryhming의 노모그램을 활용한 Cink & Thomas [11]의 Astrand-Ryhming 스텝검사 결과(표준오차 5.7 mL/kg/min)와도 큰 차이가 있었다. 이는 대상자의 연령 및 인종 간의 차이에 의한 신장 차이 그리고 체력수준의 차이에서 비롯된 것으로써 Astrand-Ryhming 스텝검사는 개발 당시 18-19세의 건강한 성인 남성의 자료를 바탕으로 개발되었기 때문에 우리나라 청소년들의 운동에 대한 신체반응(심박수)과는 차이가 있을 것으로 생각된다. 또한 최초 추정식이 개발되었을 1950년대와 비교할 경우 식생활 등의 개선 등으로 인하여 대상자의 체중 및 신장이 변화하였기 때문에 개발 당시 33 cm, 40 cm의 스텝높이에서 자신의 체중을 가지고 수직 이동하는 운동량은 차이가 있으며, 특히, 신장을 포함하여 대상자의 하지장 길이 증가는 신장대비 수직높이의 비율을 감소시키기 때문에 상대적 운동강도의 감소가 야기될 수 있다[12]. 즉, 이러한 기존 Astrand-Ryhming 추정식을 이용하여 산출된 VO<sub>2</sub>max와 트레드밀에서의 GXT를 통해 측정된 VO<sub>2</sub>max 간의 차이는 앞선 선행연구들에서 제시한 오차범위를 크게 벗어난 결과로써 기존의 Astrand-Ryhming 스텝검사의 추정식을 사용할 경우 대상자들의 실제 심폐지구력(VO<sub>2</sub>max)을 저평가할 것으로 판단되며, 남녀 간의 스텝높이를 다르게 시행하면서 대상자들의 심폐지구력을 보다 정확하게 예측할 수 있는 새로운 추정식 개발의 필요성을 확인할 수 있었다.

### 3. 트레드밀에서 측정된 VO<sub>2</sub>max를 준거로 한 새로운 스텝검사 추정식의 타당도 검증

본 연구에서는 스텝검사 시 다양한 시기의 심박수뿐만 아니라 심박수에 영향을 줄 수 있는 다양한 관찰변인과 트레드밀을 이용하여 측정된 VO<sub>2</sub>max와의 상관분석을 실시한 후 상관관계를 나타낸 변인을 투입변인으로 사용하여 다중회귀분석을 실시하였다. 투입변인으로는 성별(남자=1, 여자=2)과 체중(weight in kg), 회복기 1분 심박수(heart rate at 1 minute recovery time)가 독립변인(x)으로 함께 투입되었을 때 종속변인(y)인 트레드밀을 이용하여 측정된 VO<sub>2</sub>max (mL/kg/min)를 가장 정확하게 예측하는 것으로 나타났다.

일반적으로 VO<sub>2</sub>max를 추정하는 방법으로 신체활동량에 대한 설문지나 신체구성을 이용하는 간접법[13-15]과 시간, 거리, 속도, 심박수와 같은 운동 시 물리적 또는 생리적 반응을 변인으로 사용하는 직접법이 있다. 이들 중 직접법은 유전이나 환경요인 등이 고려되기 때문에 측정결과에 대한 높은 타당성을 확보할 수 있는 장점이 있다[13]. 특히, 생리적 반응 변인인 심박수는 운동수행에 따른 신체 반응을 직접적으로 대변하는 가장 기본적인 지표이다. 이는 산소 및 영양소를 신체의 각 부위에 운반하는 혈액공급을 위하여 심장이 1분 동안 박동하는 횟수(beat/min)를 의미하며, 심장의 기능을 비롯한 지구성 능력을 평가하는 지표이다[6]. 하지만 동일한 운동강도와 운동량임에도 불구하고 대상자의 신장, 체중, 연령, 성별 등과 같은 체격적 특성에 따라 심박수 반응은 차이가 있다. 따라서 본 연구에서도 보다 정확한 VO<sub>2</sub>max 추정식을 산출[16,17]하기 위하여 트레드밀을 이용하여 측정된 VO<sub>2</sub>max와 상관성이 있는 다양한 변인들을 투입변인으로 사용하여 VO<sub>2</sub>max를 추정하는 다중회귀분석을 사용하였다.

본 연구에서 제시된 Astrand-Ryhming 스텝검사의 protocol을 기반으로 한 청소년의 VO<sub>2</sub>max 추정식은 남자 40 cm, 여자 33 cm의 스텝높이에서 23회/분의 속도로 5분 동안 실시한 후 회복기 1분(무선심박수 측정기 이용)의 심박수(beat/min)와 성별(1=남, 2=여), 체중(kg)을 이용하여 VO<sub>2</sub>max를 추정할 수 있는 VO<sub>2</sub>max 추정 공식으로써 R=.772, R<sup>2</sup>=.597, SEE (표준오차) 5.64 mL/kg/min로 나타났다. 즉, 측정된 VO<sub>2</sub>max와 유의한 정적 상관계수( $r=.772$ )를 지니며, 측정된 VO<sub>2</sub>max에 대해  $\pm 5.64$  mL/kg/min의 오차범위에서 59.7%의 유의한 설명력을 나타낸다. 이는 기존의 Astrand-Ryhming 스텝검사의 VO<sub>2</sub>max 추정식의 상관계수 및 표준오차 범위( $\pm 0.28$  L/min)보다 개선된 결과로써 보다 정확한 VO<sub>2</sub>max를 예측할 수 있는 추정식임을 의미한다. 아울러 Chung et al. [5]에서 개발한 남녀 스텝검사 VO<sub>2</sub>max 추정식의 설명력 및 표준오차(64.2%, 4.485 mL/kg/min)와 유사한 수준의 예측결과로써 그 외 Chester 스텝검사( $r=0.87$ , SEE =  $\pm 3.9$  mL/kg/min) [18], Queen 스텝검사( $r=0.75$ , SEE =  $\pm 2.9$  mL/kg/min) [19], Skubic & Hodgkins 스텝검사( $r=0.64$ , SEE =  $\pm 3.5$  mL/kg/min) [19], YMCA 스텝검사( $r=0.862$ , SEE =



$\pm 5.5$  mL/kg/min) [20]와 유사한 설명력을 보임으로써 본 연구에서 개발된 Astrand-Ryhming 스텝검사 기반의  $VO_2$ max 추정식은 타당한 것으로 판단된다. 다만, 앞서 모든 스텝검사에서의 대상자는 19세 이상의 성인 남녀를 대상으로 실시했으며, 개발된 추정식에 대한 청소년들의  $VO_2$ max 추정결과에 대한 정확성 및 신뢰도에 관한 연구는 매우 미흡한 실정임을 감안할 때 우리나라 청소년들의  $VO_2$ max를 예측하기에 보다 적합한 스텝검사  $VO_2$ max 추정식으로 판단된다.

#### 4. GXT 실측 $VO_2$ max 값을 준거로 한 새로운 스텝검사 추정식의 신뢰도 검증

본 연구에서는 Astrand-Ryhming 프로토콜을 이용하여 개발된  $VO_2$ max 추정식의 결과에 대한 신뢰도를 확인하고자 1차 측정 대상자 110명을 대상으로 2차 Astrand-Ryhming 스텝검사를 반복 측정하였으며, 아울러 개발된  $VO_2$ max 추정식을 이용한  $VO_2$ max를 산출한 후 대상자의 트레드밀을 이용하여 측정된  $VO_2$ max와의 차이를 비교하였다. 결과에 따르면, 남녀 모든 집단에서 측정된  $VO_2$ max와 개발된 추정식을 이용하여 산출된  $VO_2$ max 간 유의한 차이는 나타나지는 않았다 ( $p > .05$ ). 더욱이, 동일한 대상자들의 반복된 측정결과에서도 측정된  $VO_2$ max와 유의한 차이가 없게 나타났음은 본 연구에서 개발된 Astrand-Ryhming 스텝검사 protocol 기반의 청소년  $VO_2$ max 추정식에 대한 신뢰도를 충분히 확보한 결과로써 오차범위 내에서 대상자들의  $VO_2$ max를 예측하는 추정식임을 확인할 수 있었다.

비록 Astrand-Ryhming 스텝검사의 신뢰도와 관련된 연구가 없어 직접적인 비교는 어려우나 이와 유사한 스텝검사의 신뢰도와 관련해서는 현재까지 단지 두 개의 연구가 보고되었다. Sykes & Roberts [18]와 Buckley et al. [21]은 다중 스텝검사인 Chester step test (CST)를 이용하였고, 이 두 개의 연구 모두 높은 신뢰도를 보였다. 즉, 1차와 2차 측정시의  $VO_2$ max의 차이가 각각 0.7과 0.8 mL/kg/min으로 1.3과 1.7%의 차이를 보였고, 2차 측정 시 다소 높음을 보고하였다. 본 연구에서는 1차와 2차 측정 시의 차이는 0.24 mL/kg/min으로 0.5%의 차이를 보여 그 차이가 미미하였으나 2차 측정시기에서 오차범위 내의 높은 경향을 보였다. 이러한 현상은 아마도 반복되는 측정으로 인한 학습효과가 작용하였을 것으로 판단된다.

이러한 결과를 토대로 본 연구에서 개발된 청소년 대상의 Astrand-Ryhming 스텝검사 기반의 청소년  $VO_2$ max 추정식은 우리나라 13-18세 남녀 중고등학생의  $VO_2$ max를 예측하기에 보다 정확한 추정식으로 판단되며, 청소년들의 심폐지구력을 현장에서 손쉽게 측정할 수 있는 유용한 공식으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 결론

본 연구의 Astrand-Ryhming 스텝검사 프로토콜(5분 동안 남자 40 cm, 여자 33 cm의 스텝높이에서 분당 23회 왕복하는 속도로 5분간 실시) 기반의 새로운 청소년  $VO_2$ max 추정식은 측정된  $VO_2$ max와 유의한 정적 상관계수( $r = .772$ )를 지니며, 우리나라 중고등학생의  $VO_2$ max를 오차범위  $\pm 5.97$  mL/kg/min 내에서 유효하게 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

다만, 본 연구에서 사용한 Astrand-Ryhming 스텝검사 프로토콜은 단일 운동단계 방식의  $VO_2$ max를 추정하는 최대운동부하 측정방식으로, 보다 정확한  $VO_2$ max를 추정 또는 얻기 위해서는 다단계 최대하점증운동부하 또는 최대점증운동부하 방식의 검사가 바람직할 수 있다. 이를 위해서는 차후 점증적 최대운동부하방식의 스텝검사 방법의 고안이 필요할 것으로 판단된다.

## REFERENCES

1. Ko BG, Kim YR, Sung BJ, Chung DS, Youn SW, et al. Development of criteria for Korea youth fitness award. *Kor J Sport Sci.* 2005;16(3):44-63.
2. Park DH, Lee SH, Kim DY, Cheon JW, Kim CS. Validity and Reliability of a New 20-m PST Protocol for Predicting  $VO_2$ max of Male Youths Aged 13-18 Years. *Exerc Sci.* 2017;26(1):77-86.
3. 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;25:401-6.
4. 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.
5. 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.
6. Korea Institute of Sport Sciences. Latest exercise prescription for professionals, Seoul: 21st century educator 2005.
7. Baek CS. Analysis of the validity of steptest by bench heights and exercise duration [thesis]. Seoul: Seoul National University 1999.
8. 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.
9. 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.
10. Hwang ER, Hwang CS. A study on actual condition of physical activity and improvement plan for young adolescent girls. *Int J Hum Mov Sci.* 52(4):283-91.
  11. Cink RE, Thomas TR. Validity of the Astrand-Ryhming nomogram for predicting maximal oxygen intake. *Br J Sports Med.* 1981;15(3):182-5.
  12. 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.
  13. George JD, Stone WJ, Burkett LN. Non-exercise  $\text{VO}_2\text{max}$  estimation for physically active college students. *Med Sci Sports Exerc.* 1997; 29(3):415-23.
  14. Nes BM, Janszky I, Vatten LJ, Nilsen TI, Aspenes S et al. Estimating  $\text{VO}_2\text{peak}$  from a nonexercise prediction model: the HUNT Study, Norway. *Med Sci Sports Exerc.* 2011; 43(11):2024-30.
  15. Wier LT, Jackson AS, Ayers GW, Arenare B. Non exercise models for estimating  $\text{VO}_2\text{max}$  with waist girth, percent fat, or BMI. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38(3):555-61.
  16. Hermiston RT, Faulkner JA. Prediction of maximal oxygen uptake by a stepwise regression technique. *J Appl Physiol.* 1971;30(6):833-7.
  17. Mastropaolo JA. Prediction of maximal  $\text{O}_2$  consumption in middle-aged men by multiple regression. *Med Sci Sports Exerc.* 1970;2(3):124-7.
  18. Sykes K, Roberts A. The Chester step test—a simple yet effective tool for aerobic capacity. *Physiotherapy.* 2004;90(1):183-8.
  19. McArdle WD, Katch FI, Pechar GS, Jacobson LONI, Ruck S. Reliability and interrelationships between maximal oxygen intake, physical work capacity and step-test scores in college women. *Med Sci Sports Exerc.* 1972;4(4):182-6.
  20. Beutner F, Ubrich R, Zachariae S, Engel C, Sandri M, Teren A, Gielen S. Validation of a brief step-test protocol for estimation of peak oxygen uptake. *Eur J Prev Cardiol.* 2015;22(4):503-12.
  21. 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.