학생건강체력검사 스텝검사의 타당도 확인 및 최대산소섭취량 추정

이 온¹, 정진욱²

¹서울대학교 체육교육과, ²동국대학교 스포츠문화학과

Validation of Physical Activity Promotion System's Step-test and Estimation of Maximal Oxygen Uptake

On Lee¹, Jin-Wook Chung²

¹Department of Physical Education, Seoul National University, Seoul; ²Department of Sports culture, Dongguk University, Seoul, Korea

PURPOSE: The purpose of this study was to investigate the validity of the PAPS step-test according to using palpation and heart rate monitor.

METHODS: A total 417 (male: 213, female: 204) in middle and high school students participated in this study. The maximum oxygen uptake was measured by GXT and the PAPS step test was performed. The recovery heart rate was measured by palpation and the heart rate monitor after step-test. The Pearson correlation coefficient between the maximum oxygen uptake and PEI was calculated to confirm the validity of the PAPS step test. In order to solve the problems identified by the analysis, regression analysis was performed to develop the maximum oxygen uptake estimation equation using the PAPS step test protocol.

RESULTS: PEI of PAPS step-test were respectively with palpation .190 (.001), .169 (.009) with heart-rate monitor .275 (.001), .371 (<.001) showed lower validity. To solve this problem, the equation of the following was developed; $VO_2\max = 63.045 - 9.477 (\text{sex}) + 0.632 (\text{age}) - 0.722 (\text{BMI}) - 0.080 (60 \text{ seconds recovery heart rate})$ based on recovery time real heart rate using heart rate monitor). Gender has a value of 0 for men and 1 for women.

CONCLUSIONS: Because of the low validity of step test which is one of the PAPS cardiopulmonary endurance test methods, fairness of the evaluation can be an issue. Therefore, developed equation in this study is recommended for better estimation of maximum oxygen uptake of middle and high school students.

Key words: PAPS step test, Validity, $VO_2\max$ equation

서론

청소년기 충분한 신체활동 참여는 근골격계의 발달에 도움을 주고 비만과 당뇨, 심장질환 등 비만과 관련된 질환을 예방하며, 이와 같은 청소년기 신체활동의 효과는 성인이 되어서도 일정 부분 작용하는 것으로 보고되고 있다. 그뿐만 아니라 불안과 우울감을 줄이는 등 정신건강을 개선하며, 공격적인 성향을 줄이고 학업중단의 위험을 감소시킨다[1]. 그러나, 우리나라의 경우 입시중심의 교육이 청소년기의 신체

활동을 제한함으로써 학생들의 체력 저하, 청소년층의 비만 및 성인병의 증가 등 여러 가지 건강상 문제를 야기해 왔다[2]. 학생건강체력평가(Physical Activity Promotion system, PAPS) 도입 이후에는 학생 체력에 대한 누적된 통계가 부족하여 최근의 추세조차 정확히 파악하기 어려워졌다. 그러나 지금까지 시행된 자료에 따르면 학생의 전반적 체력저하 현상이 심화되었음은 분명해 보인다[3]. 특히, 초중고교 비만 학생 비율이 지난 2008년 11.2%에서 2014년 15.0%, 2016년에는 16.5%로 증가하였다[4].

Corresponding author: Jin-Wook Chung Tel +82-2-2260-3741 Fax +82-2-2260-3741 E-mail cjw826@dongguk.edu

*본 논문 또는 저서는 2016년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2016S1A5B5A07921235).

Keywords 학생건강체력검사 스텝검사, 타당성, 최대산소섭취량 추정

Received 24 Jul 2018 **Revised** 6 Aug 2018 **Accepted** 15 Aug 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.

PAPS는 지금까지 학생체력검사가 학생들의 체력을 육성하기 위한 목적으로 시행되어 단순히 체력을 측정하여 기록하는 데 그쳤기 때문에 학생들의 체력과 비만을 관리하는 국가 차원의 접근에는 한계를 느끼고 이러한 문제점을 보완하고자 2009년 개발된 신개념의 학생 체력측정방법이다[5]. PAPS는 학생의 체력뿐만 아니라 비만까지 평가할 수 있는 시스템으로 학생, 학부모의 활용성을 높여 신체활동 참여 동기를 유발, 학생의 건강 증진 및 체력관리가 가능하도록 고안되었다. 측정항목은 심폐지구력, 순발력, 근력 및 근지구력, 유연성, 체지방의 5개이고, 항목별로 2-3개의 검사종목이 제공되어 그중 한 종목을 선택하여 측정할 수 있다. 평가등급은 아주 높음, 높음, 보통, 낮음, 아주 낮음의 1등급에서 5등급으로 구분되어 있다[5]. 측정 방법 면에서 과거 학생체력검사와 PAPS의 가장 큰 차이점은 각 체력 항목별로 복수의 측정 종목이 제공되어 그 중 한 종목을 선택하여 측정할 수 있다는 것이다. 예를 들어 심폐지구력의 경우, 왕복 오래달리기(Progressive Aerobic Cardiovascular Endurance Run, PACER), 오래달리기-걷기, 스텝검사의 3종목 중 한 종목을 선택하여 측정할 수 있고, 다른 건강체력요인도 복수의 측정방법 중에 선택할 수 있다.

그러나 과거 학생체력검사와 달리 새롭게 추가된 검사종목인 스텝검사의 경우 한국 청소년을 대상으로 한 타당도 연구를 찾아보기 어렵다. PAPS에서 사용하고 있는 스텝검사는 하버드 스텝검사[6]를 수정한 것으로 하버드 스텝검사는 50.8 cm의 스텝 박스를 분당 30회로 5분간 오르내리기를 실시한 후 1, 2, 3분에 각각 30초간 회복기 심박수를 측정하고 이를 체력지수(Physical Fitness Index, PFI)를 산출하여 심폐지구력을 평가하는 방법이다. 청소년을 대상으로 한 스텝검사의 타당도에 관한 국내 선행연구를 살펴보면, 남자 중학생의 경우 45 cm 높이와 3분간의 계단 오르내리기의 측정 프로토콜일 때 1,000 m 오래달리기와 .695의 상관을 보고한 Back [7]의 연구가 있으며, 그 외에는 주로 스텝검사의 프로토콜(protocol), 즉 스텝 높이와 스텝 속도 및 시간 등을 다른 연구들이 대부분이다[8-10]. 그뿐만 아니라, 스텝검사를 통한

신체효율지수(Physical Efficiency Index, PEI)의 계산식과 평가범주(norm) 역시 관련 연구 또한 부족하다. 국외의 선행연구를 살펴보면, 체력지수(PFI)에 관한 보고들을 찾아볼 수 있으며[11,12], 이들의 방법이 현행 우리나라의 PAPS 스텝검사의 PEI와 동일하거나 매우 유사하다[13]. 이와 같은 선행연구를 고려할 때 현재 PAPS 스텝검사의 PEI는 국외 선행연구의 PFI를 근거하고 있는 것으로 추측되지만, 이러한 수정 방법의 적절함을 확인할 수 있는 연구를 찾아보기 어렵다. 또한 앞서 언급한 바와 같이 PAPS는 체력을 평가하는 데 그치지 않고 활용에 목표를 두고 제작되었기 때문에 자신의 체력평가 결과를 어디서나 온라인을 통해 확인할 수 있고, IT 장비를 이용한 측정도 가능하여 학생의 흥미를 유발하고 측정의 신뢰성을 보장하는 것으로 보고되고 있다[14].

스텝검사의 경우 심박수 모니터(Heart rate monitor)를 이용하면 측정의 신뢰성을 높이고 검사 중 이상 심박수를 보이는 학생을 조기에 발견하여 사고예방에 도움을 주며 측정 결과가 교육정보시스템에서 자동으로 점수가 산출되는 편의성을 제공한다. 그러나 이때 사용되는 PEI는 일정 기간 측정하는 형태의 회복기 심박수가 아니고 운동 종료 후 휴식시의 실시간 심박수(초등 및 중학생, 여고생의 경우 1, 2, 3분의 실시간 심박수, 남고생의 경우 1분 실시간 심박수)를 사용하는데 이에 관한 선행연구도 찾아보기 힘들다. 물론 기존의 측정에 의한 PEI에 약간의 수정을 가하여 활용하고 있지만 그 적절성을 확인하기 어렵다. 이에 본 연구는 한국 중, 고등학생을 대상으로 시행중인 PAPS 스텝검사의 타당도를 확인하고 평가 방법으로 사용되고 있는 PEI의 문제점을 개선하고자 함에 그 목적이 있다.

연구 방법

1. 연구대상

본 연구는 서울 소재 K 중학교, S 고등학교에 재학 중인 청소년을 대

Table 1. Participants characteristics

	Group (n)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)	Body-fat (%)
Male (n=213)	13 yr (49)	161.00±7.98	53.31±14.67	20.35±4.32	17.74±8.29
	14 yr (40)	168.45±6.64	57.85±9.98	20.35±3.06	15.05±6.30
	15 yr (29)	172.78±5.47	62.36±10.76	20.86±3.38	15.42±6.74
	16 yr (38)	173.85±4.03	68.04±10.08	22.50±3.16	16.35±7.02
	17 yr (34)	172.84±6.68	66.44±9.87	22.25±3.21	17.98±6.98
	18 yr (23)	173.91±8.12	70.75±17.40	23.27±4.94	17.04±8.53
Female (n=204)	13 yr (50)	159.85±5.18	53.19±10.08	20.72±3.07	26.84±5.80
	14 yr (31)	158.58±4.05	54.16±9.75	21.50±3.45	28.38±6.14
	15 yr (24)	159.51±3.89	52.61±6.75	20.65±2.27	28.85±5.30
	16 yr (49)	160.21±5.65	56.56±8.49	21.98±2.71	30.44±4.38
	17 yr (30)	161.31±4.29	57.41±8.03	22.15±3.31	31.56±6.20
	18 yr (20)	160.13±4.94	54.85±8.81	20.77±2.29	28.30±4.79

Values are expressed as mean ± SD.

상으로 성별 및 학년으로 집단을 구분하여 집단별로 35명씩을 420명을 목표로 모집하였다. 연구 대상 및 보호자에게 연구의 내용과 예상 가능한 부작용 등을 설명하고 연구 참여 동의를 받았다. 또한, 본 연구는 해당 기관의 연구윤리심의를 통과하였다(KISS-201505-EFS-009P1). 측정된 전체 인원 중 최대산소섭취량 측정치의 비유효성, 측정치 및 입력의 부적합 자료 등 검사항목별 연구자료 포함에 부적합하다고 판단된 자료를 제거하고 417명(남자 213명, 여자 204명)이 분석에 포함되었다. 대상자의 신체적 특성은 Table 1과 같다.

2. 실험 진행

피험자가 실험 장소에 처음 방문하면 문진을 통하여 기본적인 건강 상태에 대하여 설문조사를 수행하고 신체 계측을 시행하였으며, BIA (Inbody 720; Inbody, Korea)를 이용하여 체지방률을 측정하였다. 스텝 검사의 타당도를 확인하기 위하여 동일한 대상에게 스텝검사와 심폐 지구력 측정의 준거검사인 호기가스 분석을 동반한 최대운동부하검사를 수행하였다. 두 측정이 서로에게 미치는 영향을 최소화하기 위해 최대운동부하검사와 스텝검사의 측정 간에는 일주일 이상의 시간적 격차를 두었으며, 각각 검사의 절차 및 방법은 다음과 같다.

스텝검사는 피험자를 정해진 높이의 스텝 박스와 리듬(중학생과 고등학교 여학생, 45.7 cm, 24회/분; 고등학교 남학생, 50.8 cm, 30회/분)에 맞추어 3분간 계단을 오르내리기를 수행하게 한 후에 즉시 의자에 앉혀 회복기 심박수를 측정하였다. 대상자의 정확한 계단 오르내리기 속도 유지를 위해서 메트로놈을 이용하였으며, 속도를 일정하게 유지하지 못하는 피험자의 경우는 측정자가 함께 보조를 맞추어 검사를 실시하였다. 회복기 심박수 측정은 측정기의 유무에 따라 측정기가 없는

경우는 회복기 1분에서 1분 30초간, 2분에서 2분 30초간, 3분에서 3분 30초간을 요골동맥에서 촉진으로 측정하였다. 또한 심박수 측정기(Mio alpha 2; Mio Global, Canada)로 중학생과 고등학교 여학생은 회복기 1분, 2분, 3분의 각 실시간 회복기 심박수를, 고등학교 남학생은 회복기 1분의 실시간 심박수를 측정하였다. 측정된 회복기 심박수를 바탕으로 Table 2의 식을 활용하여 PEI를 산출하였다[15].

최대운동부하검사는 트레드밀에서 Bruce 프로토콜을 사용하여 수행하였다. 피험자는 무선 심박 측정기(Polar S610i, Kempele, Finland)를 부착하고, 3-5분 정도 0% 경사도에서 적응 시간을 가진 후 호흡가스 분석장치(Quark CPET; Cosmed, USA)를 이용하여 최대산소섭취량을 측정하였다. 정확한 최대산소섭취량을 측정을 위하여 최대운동수행에 따른 탈진 수준은 운동 부하의 증가에도 산소섭취량이 더 증가하지 않는 시점, 측정 시 호흡교환율의 변화가 1.00 이상으로 나타나는 경우, 최고심박수가 예측 최대심박수(220-나이)의 95% 수준에 도달했을 경우 등 3가지 판단 기준 중에 2가지 항목 이상을 충족한 경우로 한정하였다[16]. 또한 정확한 측정을 위해 실험 장소에 방문하는 날에는 실험에 영향을 미칠 수 있는 전날의 과도한 신체적 활동, 흡연과 음주, 카페인 음료의 섭취를 자제하도록 교육하였다.

3. 통계분석

본 연구에서 측정한 모든 변인의 값은 SPSS 18.0 통계 프로그램을 이용하여 평균과 표준편차를 제시하였다. 성별과 연령수준으로 구분한 PAPS 스텝검사의 타당도 확인을 위해 스텝검사 후 회복기 심박수, PEI와 최대산소섭취량 간의 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient)를 산출하였다. 또한, PEI의 문제점 개선을 목적으로 회복기 심박수와 인구학적 변인을 활용한 최대산소섭취량 추정식 개발을 위해 회귀분석을 수행하였다. 개발한 추정식의 일치도를 확인하기 위하여 직접 측정된 결과와 예측된 결과의 일치성을 검증하기 위해 사용하도록 제시된 Bland-Altman 분석을 실시하였으며, 산출된 신뢰구간 내의 표준오차와 신뢰구간의 평균오차 발생비율인 LOA% (limit of agreement)를 제시하였다[17]. 모든 통계 검증의 유의 수준은 .05로 설정하였다.

결 과

1. 신체효율지수(PEI)의 타당도 분석

최대운동부하검사를 수행한 유효한 대상자 수는 405명이며, 집단별 최대산소섭취량과 두 가지 방법의 신체효율지수 산출값과 최대산소섭취량과 PEI의 상관분석의 결과는 Table 3과 같다. 남자 청소년은 중학생에서는 연령증가에 따라 최대산소섭취량이 조금 증가하는 경향을 보였으나 고등학생에서는 경향성을 확인할 수 없었으며, 여자 청소년은 연령증가에 따른 최대산소섭취량의 증가가 나타나지 않았다.

Table 2. Calculation formula of Physical Efficiency Index

※ Palpation

- Elementary school student, middle school student, and female high school student

$$PEI = D / (2 \times P) \times 100$$

D: stepping duration (sec)

P: 1st time (60-90 sec) HR+2nd time (120-150 sec) HR+3rd time (180-210 sec) HR

- Male high school student

$$PEI = D \times 100 / \{5.5 \times P\} + \{0.22 \times (300 - D)\}$$

D: stepping duration (sec)

P: 1st time (60-90 sec) HR

※ Heart-rate monitor

- Elementary school student, middle school student, and female high school student

$$PEI = D / (P) \times 100$$

D: stepping duration (sec)

P: 1st time (60 sec) HR+2nd time (120 sec) HR+3rd time (180 sec) HR

- Male high school student

$$PEI = D \times 100 / \{5.5 \times P/2\} + \{0.22 \times (300 - D)\}$$

D: stepping duration (sec)

P: 1st time (60 sec) HR

Table 3. Maximum oxygen uptake, the step-test physical efficiency index (PEI) obtained according to the measurement method by group, the paired t-test between PEI1 and PEI2, and the correlation coefficient between maximum oxygen uptake and PEI

	Group (n)	VO ₂ max (mL/kg/min)	PEI 1 (palpation)	PEI 2 (heart-rate monitor)	t (p)	r ^a (p)	r ^b (p)
male (n=213)	13 yr (49)	44.11±7.30	56.53±10.66	54.14±10.24	7.449* (<.001)	.474* (.001)	.447* (<.001)
	14 yr (40)	46.89±5.47	52.60±7.28	50.66±6.63	6.516* (<.001)	.345* (.029)	.421* (<.001)
	15 yr (29)	48.66±4.83	55.97±7.55	53.74±6.23	4.754* (<.001)	.532* (.028)	.557* (<.001)
	16 yr (38)	47.35±6.45	44.84±2.11	73.04±4.37	15.971* (<.001)	.312 (.057)	.346* (<.001)
	17 yr (34)	45.99±5.69	44.88±2.73	72.68±7.88	12.986* (<.001)	.156 (.379)	.445* (.008)
	18 yr (23)	47.16±7.49	45.00±2.40	72.46±4.99	10.302* (<.001)	-.172 (.433)	.404 (.056)
	total (213)	46.32±6.36	49.92±8.34	62.86±12.41	-12.173* (<.001)	.190* (<.001)	.275* (<.001)
Female (n=204)	13 yr (50)	36.04±4.31	46.31±4.36	44.28±3.82	7.276* (<.001)	.181 (.210)	.275 (.053)
	14 yr (31)	36.46±3.86	48.73±6.11	46.99±4.75	4.542* (<.001)	.382* (.034)	.352 (.052)
	15 yr (24)	36.73±4.40	48.73±4.82	46.13±4.38	4.162* (<.001)	.204 (.340)	.427* (.038)
	16 yr (49)	35.55±4.74	49.98±5.28	45.93±6.28	4.405* (<.001)	-.037 (.803)	.192 (.186)
	17 yr (30)	36.37±3.86	51.62±6.35	47.94±6.10	6.288* (<.001)	.457* (.011)	.528* (.003)
	18 yr (20)	36.19±4.50	52.27±8.62	48.55±9.69	1.742 (.098)	.076 (.750)	.745* (<.001)
	total (204)	36.13±4.28	49.21±6.01	46.26±5.87	8.699* (<.001)	.167* (.009)	.371* (<.001)

Values are expressed as mean±SD, t (p) and correlation coefficient (p).

t, paired t-test between PEI using palpation and PEI using heart-rate monitor; r^a, Pearson's Correlation coefficient between VO₂max and PEI using palpation; r^b, Pearson's Correlation coefficient between VO₂max and PEI using heart-rate monitor.

Table 4. Correlation analysis of maximum oxygen uptake and heart rate of real-time recovery at the end of PAPS step-test

Gender	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
VO ₂ max Male	-.172	-.274	-.328	-.347	-.318	-.324	-.313	-.327	-.325	-.322	-.321	-.308	-.300	-.280	-.299	-.293	-.274	-.284
	.012	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
Female	-.129	-.292	-.389	-.411	-.406	-.418	-.415	-.405	-.403	-.394	-.372	-.390	-.385	-.353	-.348	-.346	-.333	-.309
	.065	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001

Numbers 1 to 18 are real-time recovery heart rates measured with a 10-second gap from 10 to 180 seconds after each exercise.

PEI는 측정방법에 따라 성별 및 연령 변화에 다른 경향을 보인다. 촉진에 의한 PEI 산출값은 남자에서 연령증가에 반해 감소하는 경향을 보였으며 여자에서는 증가하는 경향을 보였다. 심박수 측정기에 의한 PEI 산출값은 남자 청소년에서 연령증가에 변화보다는 고등학생이 중학생보다 크게 증가한 결과를 보였으나 여자 청소년에서는 연령증가에 따라 조금씩 증가하는 추세를 보였다. 또한 측정방법에 따른 각 PEI 산출값은 모든 집단에서 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 특히 고등학교 남학생에서 매우 큰 차이를 보였다. PEI의 타당도 확인을 위하여 최대산소섭취량 간의 상관분석을 수행하였다. 연구결과에 따르면, 촉진을 통해 PEI를 산출한 경우에는 최대산소섭취량과의 상관계수가 상대적으로 낮게 나온 것뿐 아니라, 집단별로 유의하지 않는 결과를 보인 경우가 더 많았다. 그에 반해 심박수 측정기를 통해 PEI를 산출한 경우에는 보다 많은 집단에서 유의한 상관계수를 나타냈으나 여자 고등학교 3학년을 제외하고 높지 않은 상관계수를 보였다. 이와 같은 결과를 바탕으로, 적절한 심폐지구력 평가를 위하여 현재 사용 중인 스텝검사의 신체효율지수를 대체할 방법이 필요한 상황으로 판단된다.

2. 최대산소섭취량과 운동 종료 후 시간대별 실시간 회복기 심박수의 상관분석

앞선 결과 Table 3에서 PEI를 산출함에 있어서 촉진보다 심박수 측정기를 사용한 편이 보다 최대산소섭취량과 연관성이 높았다. 측정오류나 향후 확장성 등을 고려할 때 스텝검사서 심박수 측정기를 통한 회복기 실시간 심박수를 측정값으로 사용하는 것이 적절한 것으로 판단된다. 또한 PAPS 스텝검사로 심폐지구력을 평가할 때 PEI와 같은 지수를 산출하는 것보다 스텝검사 회복기 심박수로 최대산소섭취량을 직접 추정하고 이를 바탕으로 등급으로 평가하는 것이 보다 효과적일 것으로 판단된다. 이에 따라 최대산소섭취량 간의 상관분석을 통하여 시간대별 회복기 심박수 중에서 가장 의미 있는 구간을 확인하고자 하였으며, 그 결과는 Table 4와 같다. 운동종료 후 모든 시간대별 구간에서 실시간 회복기 심박수와 최대산소섭취량 간의 상관분석은 유의한 결과를 보였다. 성별로는 여자 청소년이 남자 청소년에 비해서 실시간 회복기 심박수와 최대산소섭취량 간의 상관분석 결과가 높게 나타났다. 시간대별 결과를 살펴보면, 운동종료 직후보다는 조금 지나서부터 최대산소섭취량과의 상관계수가 증가하여서 회복기 40-60초 지

Table 5. Analysis of maximum oxygen estimation model by PAPS step-test

<i>r</i>	<i>r</i> ²	SEE	<i>F</i>	<i>p</i>	Durbin-Watson	
.801	.641	4.49	183.806	.001	1.930	
Unstandardized coefficients		Std. Error	Standardized coefficients	<i>p</i>	Collinearity statistic	
β					Tolerance	VIF
(Constant)	63.045	2.549		.000		
Gender	-9.477	.475	-.636	.000	.903	1.109
Age	.632	.134	.143	.000	.951	1.052
BMI	-.722	.068	-.331	.000	.893	1.120
Recovery HR at 60 sec	-.080	.013	-.194	.000	.828	1.208

Table 6. Analysis of the agreement between PAPS step-test maximum oxygen uptake predicted value and measured value

Case	Equation for VO ₂ max	Estimated value	Measured-estimated	Maximum diff	Minimum deff	<i>r</i>
n = 417	= 63.045 - 9.477 (male = 0, female = 1) + .632 (age) - .722 (BMI) - .080 (Recovery HR at 60 sec)	41.36 ± 5.99	.023 ± 4.47	17.91	0	0.801

Fig. 1. Correlation and agreement between predicted and measured values of maximal oxygen uptake in PAPS step-test.

점에서 최대값을 보이며, 그 이후에는 상관계수가 지속적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 즉 실시간 회복기 심박수를 통하여 최대산소섭취량을 추정할 시에 운동 종료 후 40-60초 지점이 가장 설명력이 있는 변인값으로 판단된다.

3. PAPS 스텝검사를 이용한 최대산소섭취량 추정식의 일치도 및 오차

PAPS 스텝검사의 회복기 실시간 심박수를 바탕으로 최대산소섭취량 추정을 위한 회귀분석을 수행하였으며 그 결과는 다음의 Table 5와 같다. 인구학적 변인으로 성별, 연령, 신장, 체중, 체질량지수 등을 설명 변수로 선택하였으며, 회복기 심박수는 Table 4의 결과를 바탕으로 회복기 40-60초 실시간 심박수를 사용하였으며, 단계선택을 활용한 회귀분석을 수행하였다. PAPS 스텝검사에 의한 최대산소섭취량 회귀모

형 산출결과, 다중상관계수는 .801을 나타냈으며, 모형의 설명력(*r*²)은 64.1%이다. 추정의 표준오차는 4.490을 나타냈으며, Durbin-Watson 지수가 1.930으로 오차항들이 서로 독립적임을 확인하였다. 이에 따라 PAPS 스텝검사의 최대산소섭취량 추정 공식은 VO₂max = 63.045 - 9.477 (성별) + .632 (연령) - .722 (BMI) - .080 (60초 회복기 심박수)으로 나타났으며, 이때 성별은 남자는 0, 여자는 1의 값을 갖는다. 개발된 PAPS 스텝검사의 최대산소섭취량 추정값과 최대운동부하검사의 최대산소섭취량 측정값 간에 상관관계가 나타났으며, 추정과 실측 간의 최대산소섭취량 측정차는 평균 -.023 ± 4.47 mL/kg/min으로 나타났으며, 유의한 통계적 차이는 나타나지 않았다(Table 6; Fig. 1).

논 의

본 연구에서는 PAPS에서 심폐지구력 검사 방법 중 하나로 사용되는 스텝검사의 타당도를 확인하고자 하였으며, 특히 PEI를 대체할 수 있는 평가 방법을 모색하고자 하였다. 스텝검사는 최대하 운동검사의 하나로, 일정한 시간 동안 특정 높이의 스텝 박스를 특정 빈도로 오르 내리기를 수행한 후에 회복기 심박수를 측정하여 심폐지구력을 평가하는 방법이다. 스텝검사는 다른 심폐지구력 측정 방법과 비교하면 측정 시간이 비교적 짧고, 측정 방법이 쉬워 대상자가 느끼는 측정에 대한 부담이 적어 체력이 낮은 사람도 무리 없이 측정할 수 있는 장점이 있으며, 동시에 많은 대상자를 측정할 수 있고 측정 결과의 처리가 용이하여 대규모의 대상자를 갖는 연구에 적용되기 쉬운 장점이 있기 때문에 널리 사용되고 있다. 대표적으로 하버드 스텝검사, 쿼츠 컬리지 스텝검사, YMCA 스텝검사 등이 있으며, 선행연구에서 보고된 스텝검사의 타당도는 비교적 높은 편으로 보고되었다[18-22]. 단점으로는 신장 및 하지장 등 같은 신체적 조건이 다른 대상자에게 똑같은 높이와 속도로 일정한 부하를 제공하므로 이러한 차이에서 발생할 수 있는 생리적 변인에 의한 오차 가능성이 지적되고 있으며[23], 이러한 개인차를 보정하고자 대상의 신장 및 하지장에 따라 스텝 박스의 높이나 스텝 속도를 달리 제공하는 스텝검사도 개발되었으나[24-26], 절차나 방법이 복잡한 반면 타당도가 크게 증가하지 않아 편의성을 위한 스텝검사의 강점을 약화하는 측면이 있다. PAPS 스텝검사와 같이 변형된 하버드 스텝검사에 관한 연구들을 살펴보면, 신체활동 수준이 높을수록 신체체력지수(physical fitness index)의 값이 높았고[27], PFI로 상대평가를 한 남녀의 비율이 다름을 지적한 연구도 있다[28]. 국내 선행연구를 살펴보면, Lee [13]는 PEI를 활용한 다양한 스텝검사 프로토콜과 산출식을 소개하고 하버드 스텝검사의 PEI와 신장 및 체중, 안정시와 회복기 심박수의 상관관계를 보고한 적이 있으며, Ko [8]는 여자 중학생의 경우 35 cm 높이가 적당하다고 보고하였고, Kim [29]은 중학생 운동선수를 대상으로 하여 스텝 시간을 3분보다 5분으로 증가시켜야 한다고 보고하였다. 그 외 Ra & Kim [9]은 남자 대학생에게 50.8 cm는 너무 높아 과중한 운동부하가 되기 때문에 전신지구력을 측정하는 데 부적절하다고 하였다. 그러나, 스텝검사를 통하여 PEI를 산출하는 방법의 타당도를 근거할 만한 연구는 찾기 힘들며, 일부 연구에서는 심폐지구력 측정의 준거 검사로 오래달리기를 사용하여 타당도를 제시한 적이 있다[30].

본 연구결과로 나타난 PAPS 스텝검사 PEI 방법의 타당도는 각각 측정한 경우에 남자 청소년은 .190 (<.001), 여자 청소년은 .169 (.009)로 나타났다. 심박수 측정기를 사용한 경우는 남자 청소년 .275 (<.001), 여자 청소년 .371 (<.001)로 낮게 나타났다. 특히 연령집단으로 세분화해서 보면 그 문제점이 더 크게 보인다. 남자 고등학생의 경우, PEI 산출값이

측진과 심박수 측정시에 약 13 정도 차이가 나는 것으로 보이며 이는 타당함을 떠나서 평가의 공정함에 영향을 줄 수 있을 것으로 보인다. 예를 들어 한 남자고등학교에서는 PAPS 스텝검사 시에 측진을 하여 PEI를 산출하고 다른 학교에서는 심박수 측정기를 사용한다면 비슷한 심폐지구력을 가진 학생이 각기 다른 등급으로 평가됐을 가능성이 높다. 이와 같은 차이는 측정방법 간의 타당도 등의 정확도나 측정 오류 이외도 PEI 산출식에서 그 원인을 짐작할 수 있는데, PAPS 스텝검사 후에 측진으로 측정한 회복기 심박수와 심박수 측정기로 측정한 실시간 회복기 심박수를 동일한 것으로 해석하였기 때문이다. 실시간 심박수는 특정시간 전후 심장 박동의 시간적 차이(간격)를 바탕으로 분당 심박수(beat/min, bpm)로 표기하는 것을 의미하는데 이는 측진을 통하여 측정기간 동안의 감소량을 포함하는 누적심박수와는 의미가 다르다.

회복기 심박수는 일반적으로 운동 종료 후에 분 단위 심박수의 감소를 의미한다. 많은 연구들에 따르면, 운동 중의 심박수의 변동은 처음에는 부교감신경의 약화로 시작되어, 교감신경계의 흥분으로 가속을 받으며, 운동 종료 이후에는 반대로 작용한다[31-33]. 이와 같은 운동 직후 회복기 심박수는 환자와 건강한 성인에서 차이를 보일 뿐 아니라 트레이닝 여부에 따라서 차이를 보이는 것으로 보고되고 있으며[34,35], 많은 연구에서 1분의 회복기 심박수를 사용하는 것으로 나타났다[36]. 회복기 심박수는 운동의 효과를 확인하기 위한 변인으로 사용되며[37,38], 체력평가의 방법에서는 주로 스텝검사에서 활용된다. 본 연구에서도 최대산소섭취량과 회복기 실시간 심박수 간에 상관분석 결과에서 운동 종료 후 40-60초 정도의 심박수가 다른 시간대에 비해 상관계수가 높게 나타났다. 이와 같은 결과를 바탕으로 60초 회복기 심박수, 성별, 체질량지수, 연령 등의 설명변수를 포함한 최대산소섭취량 추정식을 개발하였다. 개발된 추정식을 통한 예측 최대산소섭취량과 실제 최대운동부하검사를 통하여 측정된 최대산소섭취량 간의 상관계수는 $r = .801$, 추정식의 설명력 r^2 은 .641을 나타냈다. 이는 다른 아동 및 청소년 대상의 심폐지구력 현장검사 방법의 타당도와 비교하였을 때 양호한 수준으로 판단된다[39-41]. 또한 다중공선성의 지수와 표준화 계수의 통계치를 고려하였을 때, 모델의 적절성에 문제가 없는 것으로 보인다. 본 연구에서 실측과 예측 검사 간의 일치도 분석 결과는 상위 8.73 mL/kg/min이 과대 추정되고, 하위 8.76 mL/kg/min이 과소 추정되고 있는 것으로 나타나 절대치의 허용오차범위인 5-31% 이내에 있는 것으로 나타났다. PAPS 스텝검사에서 사용하고 있는 PEI의 낮은 타당도 및 회복기 심박수 측정 방법별 차이와 과거 측정 자료의 수정 가능성을 고려한다면, 본 연구에서 제시한 최대산소섭취량 추정식을 PAPS 스텝검사의 평가 방법으로 대체하는 것이 효과적인 대안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

결론

본 연구는 대규모의 청소년을 대상으로 PAPS 스텝검사의 타당도를 확인하고자 준거검사인 최대산소섭취량과의 비교를 수행하였으며 그 결과, PAPS 심폐지구력 검사로 사용되는 스텝검사의 타당도는 매우 낮게 나타났다. 따라서 이를 해결하기 위하여 PAPS 스텝검사의 프로토콜을 사용하여 최대산소섭취량을 추정할 수 있는 추정식을 개발하였다. 개발된 추정식을 통한 최대산소섭취량 예측값은 최대운동부하 검사를 통한 실측값과 양호한 상관관계를 보였으며, 오차 등의 일치도 측면에서도 수용할 만한 것으로 나타났다. 결론적으로 PAPS 스텝검사에서 사용되는 신체효율지수 산출방법은 시급하게 해결되어야 할 문제로 생각된다. 특히 국가사업으로 전 학령을 대상으로 시행하는 측정인만큼 타당도는 중요하게 고려되어야 하므로 본 연구에서 개발된 추정식을 사용하는 것을 권장한다.

REFERENCES

- Physical Activity Guidelines Advisory Committee. Physical activity guidelines advisory committee report, 2008. Washington, DC: US Department of Health and Human Services, 2008:A1-H14.
- Shon SJ, Lee JK, Shin JK. Developmental proceedings, after the new Korean laws for operating and promoting schools of physical education (SPEP Laws). JSEL. 2013;16(4):31-50.
- Sport White Paper. Ministry of culture, sport and tourism. 2013;221.
- Student health exam sample statistics. Ministry of Education, 2017.
- Ministry of Education, Science and Technology Publication No. 2009-51.
- Brouha L, Fradd NW, Savage BM. Studies in physical efficiency of college students. AAPAR. Res Quarterly. 1944;15(3):211-24.
- Back CS. Validity analysis of step-test according to step box height and exercise time [Thesis]. Seoul: Seoul National University 1999.
- Ko YW. An experimental study on stepping training effect [dissertation]. Seoul:Hanyang University 1993.
- Ra YS, Kim HS. Validating in the use of variable stepping Box. Korean J Sports Med. 2001;10(1):395-402.
- Kim JY, Hong SH, Min JH, Jeon JY. Criterion-related validity of tecumseh step-test for estimating cardiopulmonary fitness. KPEAW. 2015;29(3):99-109.
- Fox EL, Billings Jr CE, Bartels RL, Bason R, Mathews D. Fitness standards for male college students. Int Z Angew Physiol. 1973;31(3):231-6.
- Bandyopdhyay B, Chattopadnyay H. Assessment of physical fitness of sedentary and physically active male college students by a modified Harvard step test. Ergonomics. 1981;24(1):15-20.
- Lee BH. The analysis of physical efficiency index in using of Harvard step test. J phy Ed Res Inst KANU. 1999;9(1):61-71.
- Kang KJ, Park KD, Lee AS. Perceptions and effective management strategies on physical activity promotion system (PAPS) in middle school physical education teacher. JKSSPE. 2013;18(2):35-49.
- Physical Activity Promotion System assessment manual. Ministry of Education, Science and Technology; 2009 May 27; Retrieved from <http://www.moe.go.kr/boardCnts/view.do?boardID=318&boardSeq=14508&lev=0&searchType=null&statusYN=W&page=4&s=moe&m=030207&opType=N>
- Nieman DC. Exercise testing and prescription: a health-related approach. 4th ed., NY; McGraw-Hill Companies. 1998;99-100.
- You YR. Limits of agreement among maximal oxygen uptake, shuttle run test, and cooper's 12-minute run. KSME. 2011;13(2):95-104.
- Chatterjee S, Chatterjee P, Bandyopadhyay A. Validity of queen's college step test for estimation of maximum oxygen uptake in female students. Indian J Med Res. 2005;121(1):32-5.
- 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. EJPC. 2015;22(4):503-12.
- Hansen D, Jacobs N, Thijs H, Dendale P, Claes N. Validation of a single-stage fixed-rate step test for the prediction of maximal oxygen uptake in healthy adults. Clin Physiol Funct Imaging. 2016;36(5):401-6.
- Lee O, Kim SS, Kim YS, Son HJ, Kim YM, et al. Correlation between YMCA step-test and maximum oxygen consumption (VO₂max) as measurement tools for cardiorespiratory. Korean Journal of Epidemiology. 2008;30(1):73-81.
- Hong SH. The validity of field tests for measuring cardiopulmonary fitness [thesis]. Seoul: Yonsei University 2014.
- Shahnawaz H. Influence of limb length on a stepping exercise. J Appl Physiol. 1978;44(3):346-9.
- Francis K, Feinstein R. A simple height-specific and rate-specific step test for children. South Med J. 1991;84(2):169-74.
- Francis K, Brasher J. A height-adjusted step test for predicting maximal oxygen consumption in males. J Sports Med Phys Fitness. 1992; 32(3):282-7.
- Kwak JG, Eom HJ. A study on the development of step test and validity verification for the measurement of cardiopulmonary endurance in the public. KJSS. 1999;10(1):73-87.
- Bandyopdhyay B, Chattopadnyay H. Assessment of physical fitness of

- sedentary and physically active male college students by a modified Harvard step test. *Ergonomics*. 1981;24(1):15-20.
28. Parmar D, Modh N. Study of physical fitness index using modified harvard step test in relation with gender in physiotherapy students. *Int J Sci Res*. 2013;4(1):1215-7.
 29. Kim JD. A study on the step-test load and exercise time from the VO_2 max. *J Res Inst YU*. 1996;12(1):293-308.
 30. Beak CS. Analysis of the validity of steptest by bench heights and exercise duration [thesis]. Seoul: Seoul National University 1999.
 31. Arai Y, Saul JP, Albrecht P, Hartley LH, Lilly LS, et al. Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 1989;256(1):H132-41.
 32. Imai K, Sato H, Hori M, Kusuoka H, Ozaki H, et al. Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol*. 1994;24(6):1529-35.
 33. Pierpont GL, Stolpman DR, Gornick CC. Heart rate recovery post-exercise as an index of parasympathetic activity. *J Auton Nerv Syst*. 2000; 80(3):169-74.
 34. Kim YI. The correlation of poor heart rate recovery and serum Lipids, exercise capacity in metabolic syndrome patients. *Eexr Sci*. 2008;17(3):289-98.
 35. Kim YI, Kim JK, Son WI. The effect of 12 weeks aerobic training on heart rate recovery and cardiovascular factors in middle age type 2 diabetes mellitus. *Eexr Sci*. 2008;17(4):423-32.
 36. Daanen HA, Lamberts RP, Kallen VL, Jin A, Van Meeteren NL. A systematic review on heart-rate recovery to monitor changes in training status in athletes. *Int J Sports Physiol Perform*. 2012;7(3):251-60.
 37. Zheng H, Xie N, Xu H, Huang J, Xie X, et al. Effects of 4 month exercise on left ventricular remodeling and autonomic nervous system in hypertensive patients. *Panminerva Med*. 2016;58(1):1-7.
 38. Thomson RL, Bellenger CR, Howe PR, Karavirta L, Buckley JD. Improved heart rate recovery despite reduced exercise performance following heavy training: a within-subject analysis. *J Sci Med Sport*. 2016; 19(3):255-9.
 39. Kim YJ, Kim KH, Lee BK, Kim DY, Lee SE, et al. The development of equations to estimate VO_2 max by shuttle run and 12minutes run for athletically gifted children. *Journal of Sport and Leisure Studies*. 2010; 41(2):697-708.
 40. Kim NY, Kim JS, Park DH. Assessing agreement of various 20m PSRT' equations to estimate VO_2 max in the middle school girls. *KJSS*. 2012;23(2):254-64.
 41. 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). *Exer Sci*. 2018;27(1):71-9.