Clinical Article The Korean Journal of Sports Medicine 2022;40(1):39-48

pISSN 1226-3729 eISSN 2288-6028 https://doi.org/10.5763/kjsm.2022.40.1.39

우리나라 대학생의 비운동성 심폐체력 추정식 개발 및 타당도 검증

성균관대학교 스포츠과학대학[1], 삼성 트레이닝센터[2]

이인환[1] • 한권석[1] • 송문구[1,2] • 강현식[1]

Development and Cross-Validation of Non-exercise-based Prediction Equations for Estimating Cardiorespiratory Fitness in Korean College Students

Inhwan Lee[1], Kwonseok Han[1], Munku Song[1,2], Hyunsik Kang[1]

[1]College of Sports Science, Sungkyunkwan University, Suwon, [2]Samsung Training Center, Yongin, Korea

Purpose: Non-exercise-based estimation of cardiorespiratory fitness (eCRF) is not available for Korean young adults. This study was to develop an eCRF regression equation and to validate its accuracy in Korean college students.
Methods: Subjects were undergraduate students (n=1,319; female, 219) who participated in the assessment of physical fitness and risk factors at our institute. Using a random sampling method, 70% of the subjects were selected and used to develop prediction equations for estimating CRF, and 30% of the subjects were used to verify the accuracy of the equations for CRF. Body mass index (BMI), percent body fat, waist circumference (WC), physical activity, smoking, and resting heart rate were measured as covariates. CRF was assessed as minute volume of maximal oxygen consumption (VO_{2max}) with a graded exercise test. Prediction equations for CRF were derived using stepwise linear regressions. The differences between measured and estimated VO_{2max} values were verified by using paired t-test and Bland-Altman plots.
Results: The coefficients of determination (R^2) of BMI, % body fat, and WC-based regression models were 0.502, 0.514, and 0.518, respectively. The standard errors of estimate for BMI, % body fat, and WC regression models were 5.55, 5.48, and 5.46, respectively. In the validation study, no significant differences between estimated and measured VO_{2max} values were found in BMI (p=0.971), % body fat (p=0.877), and WC (p=0.817)-based regression models.
Conclusion: The current findings of the study suggest that CRF can be estimated from non-exercise healthrelated parameters with an acceptable accuracy in Korean college students.

Keywords: Cardiorespiratory fitness, Physical activity, Prediction, Accuracy, Young adults

Received: November 8, 2021 Revised: November 18, 2021 Accepted: November 22, 2021
Correspondence: Hyunsik Kang
College of Sports Science, Sungkyunkwan University, 2066 Seobu-ro, Jangan-gu, Suwon 16419, Korea
Tel: +82-31-299-6911, Fax: +82-31-299-6941, E-mail: hkang@skku.edu
This study was supported by a National Research Foundation grant funded by the Korean government (NRF-2019R1I1A1A01043771).

Copyright ©2022 The Korean Society of Sports Medicine
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.

서 론

건강 체력의 핵심적 구성요소인 심폐체력(cardiorespiratory fitness)은 신체활동 및 운동을 장기간에 걸쳐 지속적으로 수행할 수 있는 능력으로 정의되며[1], 폐, 심장, 혈관으로 이어지는 호흡·순환계의 산소운반 능력과 마이오글로빈, 미토콘드리아, 모세혈관 분포 등 근골격계의 기능적 상태에 따라 결정된다[2]. 또한 심폐체력은 유전적 요인과 후천적 요인에 따라 차이가 있는 것으로 알려져 있으며[3,4], 규칙적인 중·고강도의 신체활동 및 운동은 심폐체력을 증진하는 가장 효과적인 수단으로 알려져 있다[5].

심폐체력을 증진하면 성인기 만성질환을 예방하여 건강 관련 삶의 질 증진에 긍정적인 효과를 유도할 뿐만 아니라 중년 이후 다양한 원인으로 인한 조기사망과도 밀접한 연관성이 있는 것으로 보고되고 있다[6-9]. 심폐체력을 가장 객관적으로 측정하는 방법은 실험실 운동부하검사(graded exercise test)를 통해 최대 산소섭취량(volume of maximal oxygen consumption, VO_{2max})을 측정하는 것으로 알려져 있다[10]. 그러나 운동부하검사 방법을 이용한 심폐체력 측정은 고가의 장비와 숙련된 전문가를 필요로 하여 고비용 문제가 발생할 뿐만 아니라 측정에 대해 많은 시간이 소요된다는 단점이 부각되어 보편적으로 수행하기에는 제한이 있다고 보고되고 있다[11]. 이에 국외 선행연구에서는 심폐체력 측정의 여러 가지 제한점을 보완하고 편의성을 확보하고자 운동을 하지 않고 심폐체력을 파악할 수 있는 비운동성 심폐체력 추정식을 개발하여 사용하고 있다[12].

비운동성 추정 심폐체력(estimated cardiorespiratory fitness)은 현장에서 비교적 간단하게 얻을 수 있는 변수를 이용하여 최대산소섭취량을 추정하는 방법이며[13], 측정된 심폐체력에 비해 약간의 추정오차는 있지만 그 편의성으로 인해 운동부하검사가 불가한 대단위 역학조사에서 유용하게 사용되고 있다[14]. 실례로, 미국 국민건강영양조사 연구에서 비운동성 심폐체력 수준이 1 MET (metabolic equivalent task) 증가할 때마다 심혈관질환으로 인한 사망 위험은 약 20%–30%씩 감소하는 것으로 보고한 바 있으며[15], 영국 건강조사 연구에서도 비운동성 심폐체력이 증가할수록 모든 원인 및 심혈관질환으로 인한 사망 위험은 유의하게 낮아진다고 보고한 바 있다[16]. 이처럼 국외 선행연구에서는 비운동성 심폐체력 추정식을 개발하고 대단위 역학조사에 근거하여 주요질환 및 사망에 대한 심폐체력의 역할을 검증하는 시도가 지속적으로 이루어지고 있다. 그러나 국내의 경우 대단위 역학조사에 기반하여 주요 만성질환에 대한 심폐체력의 역할을 검증한 연구가 매우 미흡할 뿐만 아니라 우리나라 성인을 대상으로 타당성이 확보된 비운동성 심폐체력 추정식 개발 연구 또한 전무한 실정이다.

국외 메타분석 연구에서 비운동성 심폐체력을 추정하는 데 있어 나이, 성별, 신체활동, 안정 시 심박수, 흡연, 신체구성을 추정식에 활용 빈도가 가장 높은 변수로 보고하고 있으며[17,18], 신체구성의 경우 상황에 따른 심폐체력 추정의 편의성을 고려하여 심혈관질환과 연관성이 높은 변수인 체질량지수, 허리둘레, 체지방률을 각각 포함한 추정식을 제시하고 있다[19]. 이와 관련하여, Jackson 등[20]과 Baynard 등[21]의 연구에서도 체질량지수, 체지방률, 허리둘레 등 각 신체구성에 따른 비운동성 추정 심폐체력은 측정 심폐체력에 대한 예측력이 충분히 확보되었음은 물론, 다양한 형태의 추정식 제시를 통해 비운동성 심폐체력 추정에 대한 편의성을 제공할 수 있다고 보고한 바 있다. 그러나 이러한 추정식을 인종, 연령, 후천적 요인 등을 고려하지 않고 적용할 경우 실제 심폐체력에 대해 낮은 정확도 및 큰 오류가 발생할 수 있을 뿐만 아니라 건강 관련 요인과의 연관성에 대한 연구에서도 편향된 결과를 초래할 수 있다고 알려져 있다[17]. 실제, 우리나라 노인실태조사 자료를 활용하여 미국 성인에게 검증된 추정식을 통해 심폐체력을 산출한 뒤 모든 원인의 사망과 연관성을 검증한 국내 연구에서도, 추정식의 인종 및 연령 차이로 인해 결과에 오차가 발생하였을 수도 있다고 보고한 바 있다[22]. 이에 국외 비운동성 심폐체력 추정식을 국내 대상자에게 적용할 경우, 우리나라 성인의 심폐체력 추정을 일반화하기에 제한적이거나 편향된 결과를 초래할 수 있기에 우리나라 성인의 각 신체구성 변수를 고려한 비운동성 심폐체력 추정식 개발 연구가 필요하다고 판단하였다.

따라서 본 연구의 목적은 세부적인 신체구성 변수를 고려하여 측정 및 추정 심폐체력의 교차-타당화 검증을 통해 우리나라 젊은 성인의 비운동성 심폐체력 추정식을 개발하는 데 있다.

연구 방법

1. 연구대상

본 연구의 대상은 연구목적 및 방법에 대한 설명을 듣고 자발적인 참여 의사를 밝힌 성균관대학교 재학생 1,319명(20–42세)을 대상으로 실시하였으며, 실험 진행과정에서 측정을 거부하거나 설문조사가 누락된 157명(운동부하검사 73명, 허리둘레 6명, 신체활동 53명, 건강 관련 설문 23명, 만성질환 2명)을 제외하였다. 이후 자료 분석 대상으로 선정된 1,162명에 대해 일차적으로 성별을 분할한 뒤, 단순 무작위 표본추출(simple random sampling)을 통해 70.1%인 815명(남성 596명, 여성 219명)을 비운동성 심폐체력 추정식 개발 대상자로 분류하였으며, 나머지 29.9%인 347명(남성 255명, 여성 92명)을 비운동성 심폐체력 추정식 교차-

Table 1. Characteristics of the study subjects

Characteristic	Total	Derivation	Cross-validation	p-value
No. of subjects	1,162	815	347	
Female sex	311 (26.8)	219 (26.9)	92 (26.5)	0.900
Age (yr)	23.7±2.2	23.7±2.2	23.8±2.2	0.660
Height (cm)	171.2±8.0	171.2±8.0	171.1±8.3	0.958
Weight (kg)	66.1±12.1	65.8±11.9	67.0±12.3	0.104
Body mass index (kg/m^2)	22.4±3.1	22.3±3.1	22.7±3.0	0.031*
Body fat (%)	21.0±5.6	20.7±5.6	21.6±5.5	0.011*
WC (cm)	80.2±8.2	79.8±8.2	81.0±8.3	0.029*
Lean mass (kg)	52.0±9.1	51.9±9.0	52.3±9.2	0.483
RHR (beat/min)	76.1±11.6	76.4±11.7	75.3±11.3	0.121
VO_{2max} (mL/kg/min)	43.5±7.9	43.5±7.8	43.3±7.9	0.739
Physical activity (MET/wk)	1,308.7±1,137.3	1,284.2±1,128.4	1,366.0±1,157.7	0.262
Physical inactive	827 (71.2)	581 (71.3)	246 (70.9)	0.892
Smoking	286 (24.6)	207 (25.4)	79 (22.8)	0.242

Values are presented as number only, number (%), or mean±standard deviation.
WC: waist circumference, RHR: resting heart rate, VO_{2max}: volume of maximal oxygen consumption, MET: metabolic equivalent.
*$p<0.05$.

타당도 검증 대상자로 분류하였다.

본 연구는 성균관대학교 기관윤리심의위원회의 승인을 받아 진행하였으며(SKKU 2019-10-019-001), 대상자 특성은 Table 1에 제시한 바와 같다.

2. 측정항목 및 분석방법

1) 신체구성 및 안정 시 심박수

신장은 자동 신장계(DS-102; Jenix, Seoul, Korea)를 통해 측정하였으며, 체중, 체질량지수, 체지방률 등 전반적인 신체구성은 금속이 포함되지 않은 편안한 옷을 입은 상태에서 X-scan 신체구성 측정기기(Jawon Medical, Seoul, Korea)를 이용하여 측정하였다. 또한 허리둘레는 인체측정 줄자를 이용하여 장골능 상부와 늑골 하단부의 중간 지점을 cm 단위로 2회 측정하여 평균값을 사용하였으며, 안정 시 심박수는 대상자가 의자에서 앉은 상태에서 최소 10분 이상 휴식을 취하게 한 뒤 자동혈압계(FT-500R; Jawon Medical)를 이용하여 왼쪽 상완의 안정 시 심박수를 2회 측정하여 평균값을 사용하였다.

2) 신체활동 및 흡연

신체활동은 설문을 통해 의도적으로 실시하는 신체활동 및 운동의 지속기간, 빈도, 종류, 시간을 조사하였으며, 최소 3개월 이상 주 1회 규칙적으로 실시한 신체활동 및 운동에 한하여 선행연구에서 제시한 각 세부항목별 강도를 적용하여 변환하였다. 이에 종류에 무관하게 4 MET 이상의 신체활동을 중・고강도 신체활동으로 정의하였으며, 주당 중・고강도 신체활동 600 MET 이상에 해당할 경우 활동(active), 그렇지 않을 경우 비활동(inactive)으로 분류하였다[23,24]. 또한 흡연은 현재 흡연 중인 경우 흡연(smoking), 과거 흡연자 또는 경험이 없는 경우를 비흡연(non-smoking)으로 분류하였다[20].

3) 운동부하검사

대상자들의 분당 최대 산소섭취량을 측정하기 위해 트레드밀(Medtrack ST65; Quinton, Seattle, WA, USA)과 호흡 가스 분석기(True-One; Quinton)를 이용하여 최대 운동부하검사를 실시하였으며, 검사 시 복장은 가벼운 운동복과 운동화를 착용하도록 하였다. 운동부하검사 프로토콜은 건강한 성인에서 보편적으로 사용되고 있는 Bruce 프로토콜과 수정형 Bruce 프로토콜을 남녀 각각 적용하였다[25]. 또한 운동부하검사에서 최대 능력 도달의 기준 여부는 '(1) 연령에 근거한 최대 심박수(220-나이)에 도달한 경우, (2) 호흡교환율(respiratory exchange ratio) 1.15 이상인 경우, (3) 자각적 운동강도(rating perceived exertion)가 17 이상인 경우, (4) 운동 강도가 증가하여도 VO_2 값이 상승되지 않는 경우'의 4개 항목 중에서 2개 이상을 충족시키는 경우 또는 대상자의 자발적 중단 의사가 있는 경우로 설정하였다[26].

4) 비운동성 심폐체력 추정 변수

본 연구에서의 추정 변수를 결정하기 위해 국외 비운동성

Table 2. Stepwise multiple regression analysis for estimation of VO_{2max} from BMI in derivation subjects (n=815)

Variable	Unstandardized coefficients		t	p-value	Tolerance	VIF	R^2	SEE
	β	SE						
Constant	61.219	2.922	20.949	<0.001			0.502	5.55
Sex	12.912	0.531	24.328	<0.001	0.684	1.463		
BMI	−0.673	0.070	−9.676	<0.001	0.833	1.201		
Physical activity	3.866	0.445	8.695	<0.001	0.935	1.069		
Age	−0.387	0.098	−3.945	<0.001	0.779	1.284		
RHR	−0.049	0.017	−2.840	0.005	0.937	1.067		
Smoking	−1.376	0.478	−2.879	0.004	0.875	1.143		
Durbin-Watson, 1.750; F=135.648, p<0.001								

VO_{2max}: volume of maximal oxygen consumption, BMI: body mass index, SE: standard error, VIF: variance inflation factors, SEE: standard error of estimate, RHR: resting heart rate.

심폐체력 선행연구 중 가장 보편적으로 활용되고 있는 Jurca 등[27]과 Jackson 등[20]의 추정식을 종합적으로 고려하여 나이, 성별, 신체활동, 안정 시 심박수, 흡연, 신체구성(체질량지수, 체지방률, 허리둘레)을 포함하였다.

3. 자료 처리 방법

본 연구의 모든 연속형 자료는 평균과 표준편차(mean±standard deviation [SD])로 표기하였으며, 범주형 자료는 각 집단별 비율(%)로 표기하였다. 추정식 개발 대상자에 근거하여 신체구성별 비운동성 심폐체력 추정식을 도출하기 위해 선형 회귀분석(linear regression analysis)의 단계적 방법(stepwise)을 이용하였으며, 측정 및 추정 심폐체력의 연관성을 파악하기 위해 Pearson 상관분석을 실시하였다. 또한 교차-타당도 검증 대상자에 근거하여 측정 심폐체력과 추정 심폐체력의 차이를 검증하기 위해 대응표본 t-test를 실시하였으며, Bland-Altman 분석을 이용하여 앞선 단계에서의 추정식에 근거한 추정 심폐체력과 측정 심폐체력의 일치도를 -1.96 SD로부터 1.96 SD 범위에서 확인하였다. 모든 가설검정을 위한 통계적 유의수준은 α=0.05로 설정하였으며, Bland-Altman 분석은 MedCalc (version 14.8.1)를, 나머지 분석은 IBM SPSS-PC (version 23.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하였다.

결 과

1. 체질량지수에 근거한 심폐체력 추정을 위한 단계적 선형 회귀분석

Table 2는 추정식 개발 대상자의 측정 심폐체력에 대해 체질량지수 및 측정 변수에 근거하여 단계적 선형 회귀분석을 실시한 결과이다. 그 결과, 성별(β: 12.912, p<0.001), 체질량지수(β: −0.673, p<0.001), 신체활동(β: 3.866, p<0.001), 나이(β: −0.387, p<0.001), 안정 시 심박수(β: −0.049, p=0.005), 흡연(β: −1.376, p=0.004)이 측정 심폐체력에 대한 독립 예측인자로 나타났다. 또한 회귀 모형의 설명력은 50.2%, 추정 표준오차는 5.55인 것으로 나타났으며, Durbin-Watson 지수는 1.750으로 각 변수 간 서로 독립적인 것으로 나타났다. 이에 본 모형을 통해 도출된 비운동성 심폐체력 추정식은 다음과 같다.

VO_{2max} (mL/kg/min):

61.219+12.912 (sex [male=1, female=0])−0.673 (body mass index)+3.866 (physical activity [active=1, inactive=0])−0.387 (age)−0.049 (resting heart rate)−1.376 (smoking [no=0, yes=1])

2. 체지방률에 근거한 심폐체력 추정을 위한 단계적 선형 회귀분석

Table 3은 추정식 개발 대상자의 측정 심폐체력에 대해 체지방률 및 측정 변수에 근거하여 단계적 선형 회귀분석을 실시한 결과이다. 그 결과, 성별(β: 9.031, p<0.001), 체지방률(β: −0.411, p<0.001), 신체활동(β: 3.513, p<0.001), 나이(β: −0.308, p=0.002), 안정 시 심박수(β: −0.048, p=0.004), 흡연(β: −1.389, p=0.003)이 측정 심폐체력에 대한 독립 예측인자로 나타났다. 또한 회귀 모형의 설명력은 51.4%, 추정 표준오차는 5.48인 것으로 나타났으며, Durbin-Watson 지수는 1.722로 각 변수 간 서로 독립적인 것으로 나타났다. 이에 본 모형을 통해 도출된 비운동성 심폐체력 추정식은 다음과 같다.

Table 3. Stepwise multiple regression analysis for estimation of VO_{2max} from % body fat in derivation subjects (n=815)

Variable	Unstandardized coefficients		t	p-value	Tolerance	VIF	R^2	SEE
	β	SE						
Constant	55.780	2.683	20.793	<0.001			0.514	5.48
Sex	9.031	0.548	16.491	<0.001	0.626	1.597		
% Body fat	−0.411	0.038	−10.789	<0.001	0.814	1.228		
Physical activity	3.513	0.441	7.975	<0.001	0.929	1.077		
Age	−0.308	0.098	−3.152	0.002	0.764	1.309		
RHR	−0.048	0.017	−2.852	0.004	0.938	1.066		
Smoking	−1.389	0.472	−2.945	0.003	0.875	1.143		
Durbin-Watson, 1.722 F=142.477, p<0.001								

VO_{2max}: volume of maximal oxygen consumption, SE: standard error, VIF: variance inflation factors, SEE: standard error of estimate, RHR: resting heart rate.

Table 4. Stepwise multiple regression analysis for estimation of VO_{2max} from WC in derivation subjects (n=815)

Variable	Unstandardized coefficients		t	p-value	Tolerance	VIF	R^2	SEE
	β	SE						
Constant	68.126	3.104	21.949	<0.001			0.518	5.46
Sex	13.161	0.523	25.163	<0.001	0.680	1.470		
WC	−0.287	0.026	−11.170	<0.001	0.826	1.211		
Physical activity	3.522	0.438	8.033	<0.001	0.930	1.076		
Age	−0.356	0.097	−3.689	<0.001	0.776	1.289		
RHR	−0.047	0.017	−2.764	0.006	0.939	1.065		
Smoking	−1.373	0.470	−2.924	0.004	0.875	1.143		
Durbin-Watson, 1.772 F=144.983, p<0.001								

VO_{2max}: volume of maximal oxygen consumption, WC: waist circumference, SE: standard error, VIF: variance inflation factors, SEE: standard error of estimate, RHR: resting heart rate.

VO_{2max} (mL/kg/min):

55.780+9.031 (sex [male=1, female=0])−0.411 (% body fat)+3.513 (physical activity [active=1, inactive=0])−0.308 (age)−0.048 (resting heart rate)−1.389 (smoking [no=0, yes=1])

3. 허리둘레에 근거한 심폐체력 추정을 위한 단계적 선형 회귀분석

Table 4는 추정식 개발 대상자의 측정 심폐체력에 대해 허리둘레 및 측정 변수에 근거하여 단계적 선형 회귀분석을 실시한 결과이다. 그 결과, 성별(β: 13.161, p<0.001), 허리둘레(β: −0.287, p<0.001), 신체활동(β: 3.522, p<0.001), 나이(β: −0.356, p<0.001), 안정 시 심박수(β: −0.047, p=0.006), 흡연(β: −1.373, p=0.004)이 측정 심폐체력에 대한 독립 예측인자로 나타났다. 또한 회귀 모형의 설명력은 51.8%, 추정 표준오차는 5.46인 것으로 나타났으며, Durbin-Watson 지수는 1.772로 각 변수 간 서로 독립적인 것으로 나타났다. 이에 본 모형을 통해 도출된 비운동성 심폐체력 추정식은 다음과 같다.

Table 5. Correlation analysis of measured and estimated VO_{2max} in derivation subjects (n=815)

Equation model	r	p-value
BMI model	0.708	<0.001
% Body fat model	0.717	<0.001
WC model	0.720	<0.001

VO_{2max}: volume of maximal oxygen consumption, BMI: body mass index, WC: waist circumference.

VO_{2max} (mL/kg/min):

68.126+13.161 (sex [male=1, female=0])−0.287 (waist circumference)+3.522 (physical activity [active=1, inactive=0])−0.356 (age)−0.047 (resting heart rate)−1.373 (smoking [no=0, yes=1])

4. 추정식 개발 대상자의 측정 및 추정 심폐체력의 상관관계

Table 5는 추정식 개발 대상자의 측정 및 추정 심폐체력의 상관관계를 산출한 결과이다. 그 결과, 측정을 통한 심폐체력과 체질량지수 모형(r=0.708, p<0.001), 체지방률 모형(r=0.717, p<0.001), 허리둘레 모형(r=0.720, p<0.001)에 기반하여 추정한 심폐체력은 유의한 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

5. 교차-타당도 검증 대상자의 측정 및 추정 심폐체력 비교

Table 6는 교차-타당도 검증 대상자에서 앞선 단계의 추정식을 이용한 추정 심폐체력과 측정 심폐체력을 비교한 결과이다. 그 결과, 측정 심폐체력은 체질량지수 모형(p=0.971), 체지방률 모형(p=0.877), 허리둘레 모형(p=0.817)에 기반한 추정 심폐체력과 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 측정 심폐체력과 추정 심폐체력의 평균 및 표준편차의 차이를 비교한 결과 체질량지수 모형 0.01±5.90 mL/kg/min, 체지방률 모형 0.05±5.78 mL/kg/min, 허리둘레 모형 0.07±5.97 mL/kg/min인 것으로 나타났다.

Table 6. Analysis for comparison of measured and estimated VO_{2max} in cross-validation subjects (n=347)

Equation model	VO_{2max} (mL/kg/min)	Difference (mL/kg/min)	r	t	p-value
Measured VO_{2max}	43.34±7.92				
BMI model	43.32±5.74	0.01±5.90	0.670	0.037	0.971
% Body fat model	43.29±5.75	0.05±5.78	0.685	0.155	0.877
WC model	43.26±5.81	0.07±5.97	0.660	0.232	0.817

VO_{2max}: volume of maximal oxygen consumption, BMI: body mass index, WC: waist circumference.

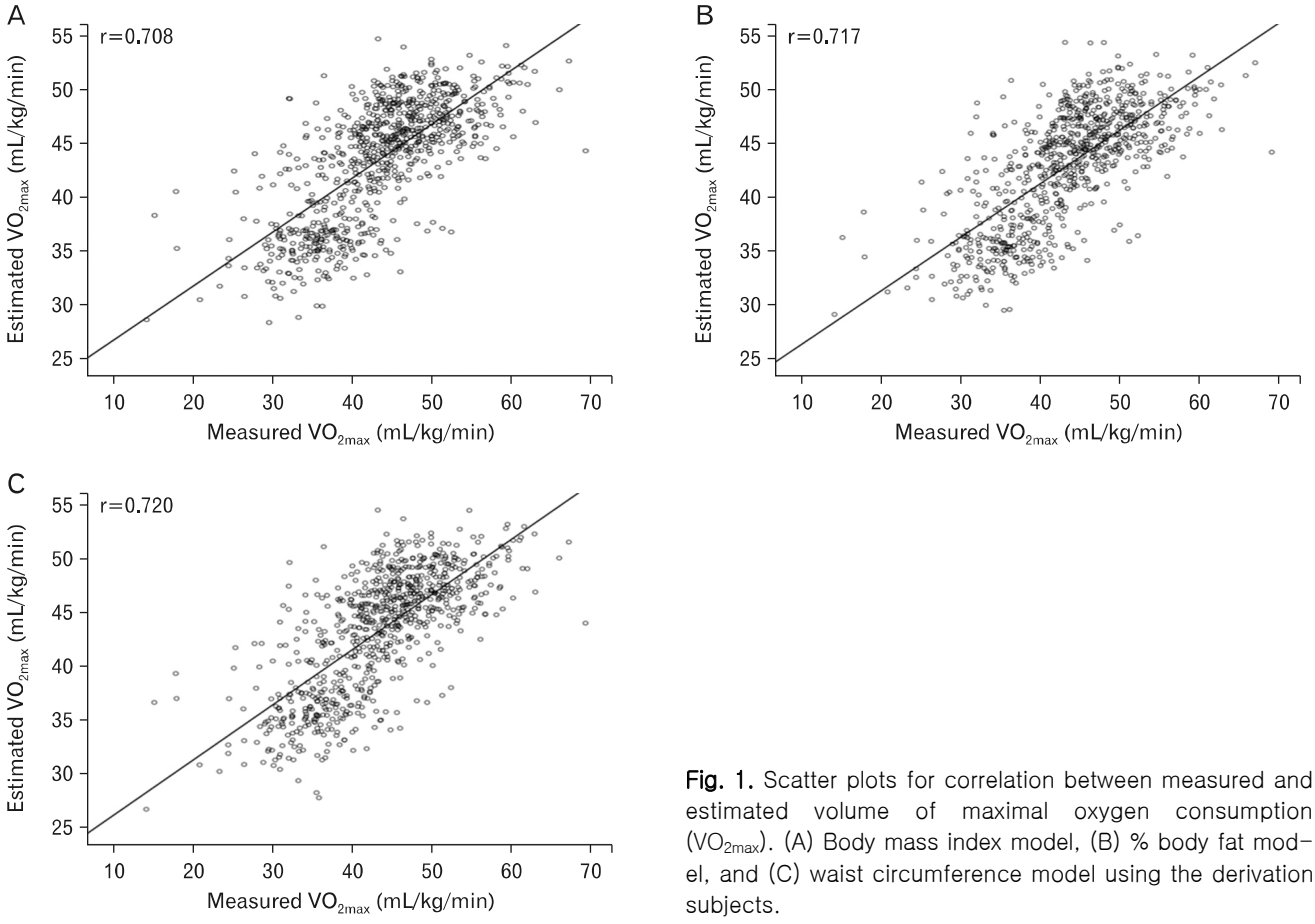

Fig. 1. Scatter plots for correlation between measured and estimated volume of maximal oxygen consumption (VO_{2max}). (A) Body mass index model, (B) % body fat model, and (C) waist circumference model using the derivation subjects.

고 찰

본 연구는 우리나라 젊은 성인을 대상으로 신체구성 변수를 고려하여 측정 심폐체력과 추정 심폐체력의 교차-타당도 검증을 통해 비운동성 심폐체력 추정식을 개발하는 것을 주요 목적으로 하였다. 이에 추정식 개발 대상자를 통해 체질량지수, 체지방률, 허리둘레에 근거한 3가지 추정식 모형을 도출하였으며, 모든 모형에서의 추정 심폐체력은 측정 심폐체력과 유의한 수준의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 또한 교차-타당도 검증 대상에서 추정 심폐체력과 측정 심폐체력의 차이 검증 결과, 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

1. 비운동성 심폐체력 추정식 개발

만성질환 및 조기사망에 대한 심폐체력의 긍정적인 역할에 대한 연구가 오랜 기간 진행되고 있는 가운데, 심폐체력을 가장 객관적으로 측정하는 방법은 운동부하검사로 알려져 있다[10]. 그러나 운동부하검사는 다양한 문제로 인해 대단위 역학조사에 적용하기에 한계가 있는데, 이러한 제한점을 보완하고 편의성을 확보하고자 국외 연구에서는 비운동성 심폐체력 추정식의 개발을 통해 대단위 역학조사에서 사용하고 있다[13].

반면, 우리나라의 경우 건강지표에 대한 심폐체력의 긍정적인 역할에 대해 잘 알려져 있음에도 불구하고 타당성이 검증된 비운동성 심폐체력 추정식이 전무한 실정이다. 이에 본 연구에서는 국외의 추정식 가운데 가장 보편적으로 활용되고 있는 선행연구의 추정 변수인 나이, 성별, 안정 시 심박수, 신체활동, 흡연과 신체구성에 근거하여 3가지 모형의 비운동성 심폐체력 추정식을 도출하였다. 이에 체질량지수 모형은 설명력 50.2%, 표준 추정오차 5.55, 체지방률 모형은 설명력 51.4%, 표준 추정오차 5.48, 허리둘레 모형은 설명력 51.8%, 표준 추정오차 5.46으로 나타났으며, 각 회귀식을 통해 도출된 추정 심폐체력과 측정 심폐체력은 체질량지수 모형(r=0.708), 체지방률 모형(r=0.717), 허리둘레 모형(r=0.720)에서 유의한 수준의 상관관계가 있는 것으로 나타났다(Fig. 1).

이러한 본 연구의 결과는 나이, 허리둘레, 신체활동, 안정 시 심박수에 기반한 추정식의 설명력이 56%–61%, 추정 표준오차가 5.14–5.70으로 나타났다고 보고한 Nes 등[28]의 연구와, 나이, 성별,

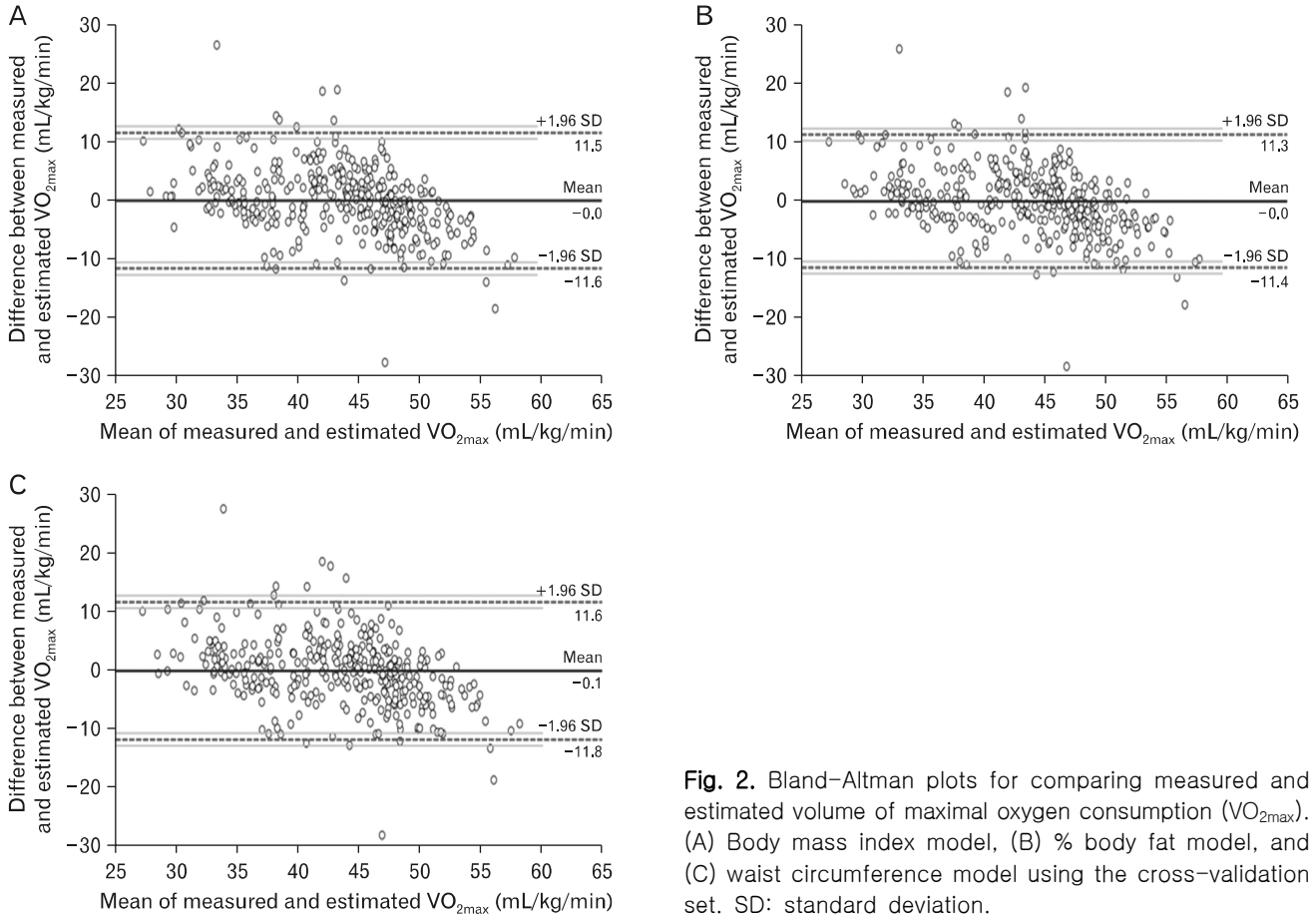

Fig. 2. Bland-Altman plots for comparing measured and estimated volume of maximal oxygen consumption (VO_{2max}). (A) Body mass index model, (B) % body fat model, and (C) waist circumference model using the cross-validation set. SD: standard deviation.

신체구성에 기반한 추정식의 설명력이 64%–67%, 표준 추정오차가 4.72–4.90으로 나타났다고 보고한 Wier 등[19]의 연구에 비해 설명력은 다소 낮은 것으로 나타났으나, 표준 추정오차는 유사한 수준이다. 비운동성 심폐체력 모형에서 신체활동 변수가 차지하는 설명력이 중요한데, 선행연구가 신체활동을 객관화된 설문을 통해 조사한 반면 본 연구의 경우 주관적인 설문으로 인해 신체활동 수준의 객관화된 조사가 부족했던 점이 선행연구와 본 연구의 설명력 차이를 초래했다고 해석된다[17]. 또한 다수의 비운동성 심폐체력 추정식 개발과 관련한 선행연구에서 남성과 여성의 성별 분포가 유사했던 반면, 본 연구의 성별 분포는 남성에게 편중된 분포가 나타난 것도 하나의 원인일 것이다. 그러나 본 연구에서 도출된 각 모형의 설명력, 표준 추정오차, 다중 공선성 지수를 고려하였을 때, 심폐체력을 추정하기에는 허용 가능한 수준인 것으로 생각된다.

2. 비운동성 심폐체력 추정식 교차-타당도 검증

본 연구에서는 전체 대상자 중 약 30%를 타당도 검증 대상자로 분류하여 앞선 단계에서 도출되었던 3가지 모형의 비운동성 심폐체력 추정식의 교차-타당도를 검증하였다. 이에 타당도 검증 대상자의 측정 심폐체력과 추정 심폐체력의 차이는 체질량지수 모형 0.01±5.90 mL/kg/min, 체지방률 모형 0.05±5.78 mL/kg/min, 허리둘레 모형 0.07±5.97 mL/kg/min으로 나타났으며, 측정 심폐체력과 유의한 평균 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 추정 심폐체력은 측정 심폐체력과 체질량지수 모형 r=0.670, 체지방률 모형 r=0.685, 허리둘레 모형 r=0.660의 상관성이 있는 것으로 나타났으며, 일치도 검증에서 95% 수준의 허용 한계(limit of agreement, LoA) 값은 체질량지수 모형에서 −11.6–11.5, 체지방률 모형에서 −11.4–11.3, 허리둘레 모형에서 −11.8–11.6 수준으로 나타났다 (Fig. 2).

이러한 결과는 비운동성 심폐체력 추정식의 교차-타당도 검증과 관련한 두 선행연구와 유사한 수준의 결과로 Schembre와 Riebe[29]는 미국 대학생에서 추정 심폐체력은 측정 심폐체력과 0.606 수준의 상관성을 보였고 −0.40 (95% LoA, −10.90–5.45)의 평균 차이가 나타났다고 보고하였고, Sloan 등[30]은 아시아 성인에서 추정 심폐체력은 측정 심폐체력과 0.61–0.77 수준의 상관성을 보였고 남성 −1.05 (95% LoA, −8.51–6.40), 여성 0.95 (95% LoA, −4.90–6.81)의 평균 차이가 나타났다고 보고하였다. 이에 신체구성에 근거한 본 연구의 비운동성 심폐체력 추정식은 추정치의 평균 차이 및 허용 한계를 고려할 때 교차 검증 대상자를 통해 충분한 수준의 타당성이 확보된 것으로 생각되며, 추후 심폐체력 측정이 제한적인 대단위 역학조사에서 개인의 건강 상태에 대한 심폐체력의 역할을 검증하는 데에 유용하게 사용할 수 있을 것으로 생각한다.

그러나 본 연구는 다음과 같은 몇 가지 제한점을 가진다. 첫째, 본 연구의 대상자는 20대와 30대의 젊은 성인에 국한되었기에 추후 연구에서는 연령의 범위를 확대하여 각 연령대의 특징을 고려한 추정식 개발 연구가 필요할 것이다. 둘째, 남성의 비율이 높아 다소 편향된 결과가 나타났을 수 있기에 추후 연구에서는 성별에 따른 추정식을 도출하거나 유사한 성비에 대한 추정식을 개발할 필요가 있다. 셋째, 본 연구는 비운동성 심폐체력 추정식의 주요 변수인 신체활동을 객관화된 설문지가 아닌 주관적인 설문을 통해 조사하였는데, 추후 신체활동의 객관적인 조사를 통한 연구가 필요할 것으로 생각한다. 넷째, 추정식 개발 단계에서 추정식의 재검사 신뢰도가 검증되지 않았기에 추후 연구에서는 보다 체계적인 방법을 통해 추정식을 도출해야 할 것이다.

본 연구의 결과를 종합해보면, 우리나라 젊은 성인의 신체구성에 따른 비운동성 심폐체력 추정식은 신뢰할 정도의 타당성이 확보되었으며, 본 연구의 추정식을 통해 심폐체력의 측정이 제한적인 대단위 역학조사에서 심폐체력 수준을 간접적으로 파악하고, 나아가 건강 상태에 대한 심폐체력의 역할을 검증하는 데에 유용한 근거자료가 될 것으로 판단한다.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ORCID

Inhwan Lee https://orcid.org/0000-0002-7366-0697
Kwonseok Han https://orcid.org/0000-0002-9836-3744
Munku Song https://orcid.org/0000-0002-5093-5168
Hyunsik Kang https://orcid.org/0000-0002-8611-1873

Author Contributions

Conceptualization: IL, KH, HK. Methodology: IL, KH, MS, HK. Writing–original draft: IL, MS, HK. Writing–review & editing: All authors.

References

1. Blair SN, Kohl HW 3rd, Barlow CE, Paffenbarger RS Jr, Gibbons LW, Macera CA. Changes in physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy and unhealthy men. JAMA 1995;273:1093-8.
2. Lee DC, Artero EG, Sui X, Blair SN. Mortality trends in the general population: the importance of cardiorespiratory fitness. J Psychopharmacol 2010;24(4 Suppl):27-35.
3. Wang CY, Haskell WL, Farrell SW, et al. Cardiorespiratory fitness levels among US adults 20-49 years of age: findings from the 1999-2004 National Health and Nutrition Examination Survey. Am J Epidemiol 2010;171:426-35.
4. Sanders LF, Duncan GE. Population-based reference standards for cardiovascular fitness among U.S. adults: NHANES 1999-2000 and 2001-2002. Med Sci Sports Exerc 2006;38:701-7.
5. Lin X, Zhang X, Guo J, et al. Effects of exercise training on cardiorespiratory fitness and biomarkers of cardiometabolic health: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. J Am Heart Assoc 2015;4:e002014.
6. Liu J, Sui X, Lavie CJ, et al. Effects of cardiorespiratory fitness on blood pressure trajectory with aging in a cohort of healthy men. J Am Coll Cardiol 2014;64:1245-53.
7. Al-Mallah MH, Sakr S, Al-Qunaibet A. Cardiorespiratory fitness and cardiovascular disease prevention: an update. Curr Atheroscler Rep 2018;20:1.
8. Laukkanen JA, Zaccardi F, Khan H, Kurl S, Jae SY, Rauramaa R. Long-term change in cardiorespiratory fitness and all-cause mortality: a population-based follow-up study. Mayo Clin Proc 2016;91:1183-8.
9. Imboden MT, Harber MP, Whaley MH, Finch WH, Bishop DL, Kaminsky LA. Cardiorespiratory fitness and mortality in healthy men and women. J Am Coll Cardiol 2018;72:2283-92.
10. Arena R, Myers J, Williams MA, et al. Assessment of functional capacity in clinical and research settings: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention of the Council on Clinical Cardiology and the Council on Cardiovascular Nursing. Circulation 2007;116:329-43.
11. Kaminsky LA, Arena R, Beckie TM, et al. The importance of cardiorespiratory fitness in the United States: the need for a national registry: a policy statement from the American Heart Association. Circulation 2013;127:652-62.
12. Mailey EL, White SM, Wójcicki TR, Szabo AN, Kramer AF, McAuley E. Construct validation of a non-exercise measure of cardiorespiratory fitness in older adults. BMC Public Health 2010;10:59.
13. Myers J, Kaminsky LA, Lima R, Christle JW, Ashley E, Arena R. A reference equation for normal standards for VO_2 max: analysis from the Fitness Registry and the Importance of Exercise National Database (FRIEND Registry). Prog Cardiovasc Dis 2017;60:21-9.
14. Martinez-Gomez D, Guallar-Castillón P, Hallal PC, Lopez-Garcia E, Rodríguez-Artalejo F. Nonexercise cardiorespiratory fitness and mortality in older adults. Med Sci Sports Exerc 2015;47:568-74.
15. Zhang Y, Zhang J, Zhou J, et al. Nonexercise estimated cardiorespiratory fitness and mortality due to all causes and cardiovascular disease: the NHANES III Study. Mayo Clin Proc Innov Qual Outcomes 2017;1:16-25.
16. Stamatakis E, Hamer M, O'Donovan G, Batty GD, Kivimaki M. A non-exercise testing method for estimating cardiorespiratory fitness: associations with all-cause and cardiovascular mortality in a pooled analysis of eight population-based cohorts. Eur Heart J 2013;34:750-8.
17. Wang Y, Chen S, Lavie CJ, Zhang J, Sui X. An overview of non-exercise estimated cardiorespiratory fitness: estimation equations, cross-validation and application. J Sci Sport Exercise 2019;1:38-53.
18. Peterman JE, Harber MP, Imboden MT, et al. Accuracy of nonexercise prediction equations for assessing longitudinal changes to cardiorespiratory fitness in apparently healthy adults: BALL ST Cohort. J Am Heart Assoc 2020;9:e015117.
19. Wier LT, Jackson AS, Ayers GW, Arenare B. Nonexercise models for estimating VO2max with waist girth, percent fat, or BMI. Med Sci Sports Exerc 2006;38:555-61.
20. Jackson AS, Sui X, O'Connor DP, et al. Longitudinal cardiorespiratory fitness algorithms for clinical settings. Am J Prev Med 2012;43:512-9.
21. Baynard T, Arena RA, Myers J, Kaminsky LA. The role of body habitus in predicting cardiorespiratory fitness: the FRIEND Registry. Int J Sports Med 2016;37:863-9.
22. Song M, Lee I, Kang H. Cardiorespiratory fitness without exercise testing can predict all-cause mortality risk in a representative sample of Korean older adults. Int J Environ Res Public Health 2019;16:1633.
23. World Health Organization (WHO). Global recommendations on physical activity for health [Internet]. Geneva: WHO; 2010 [cited 2021 Nov 1]. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK305057/
24. Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC, et al. Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. Med Sci Sports Exerc 2000;32(9 Suppl):S498-504.

25. Fletcher GF, Ades PA, Kligfield P, et al. Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. Circulation 2013;128:873-934.
26. Howley ET, Bassett DR Jr, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. Med Sci Sports Exerc 1995;27:1292-301.
27. Jurca R, Jackson AS, LaMonte MJ, et al. Assessing cardiorespiratory fitness without performing exercise testing. Am J Prev Med 2005;29:185-93.
28. Nes BM, Janszky I, Vatten LJ, Nilsen TI, Aspenes ST, Wisløff U. Estimating V·O 2peak from a nonexercise prediction model: the HUNT Study, Norway. Med Sci Sports Exerc 2011;43:2024-30.
29. Schembre SM, Riebe DA. Non-exercise estimation of VO(2)max using the International Physical Activity Questionnaire. Meas Phys Educ Exerc Sci 2011;15:168-81.
30. Sloan RA, Haaland BA, Leung C, Padmanabhan U, Koh HC, Zee A. Cross-validation of a non-exercise measure for cardiorespiratory fitness in Singaporean adults. Singapore Med J 2013;54:576-80.