

운동부하검사 없이 시행하는 운동처방: 실용적 대안

이 장 우

국민건강보험 일산병원 재활의학과

Exercise Prescription without Stress Test: Practical Alternatives

Jang Woo Lee, M.D., Ph.D.

Department of Physical Medicine and Rehabilitation, National Health Insurance Service Ilsan Hospital
Goyang 10444, Korea

Abstract

Cardiopulmonary exercise test (CPET) is considered the gold standard for evaluating cardiorespiratory fitness, stratifying cardiovascular risk, and guiding individualized exercise prescription in cardiac rehabilitation (CR). However, CPET is not always feasible due to limited resources, contraindications, or patient-related factors such as frailty, multiple comorbidities, impaired balance with an increased risk of falls, and poor exercise tolerance. Therefore, practical alternatives are required to ensure safe and effective exercise prescription in these populations. This narrative review summarizes alternative assessment tools and exercise strategies when CPET cannot be performed. Field-based walk tests, including the 6-minute walk test (6MWT) and incremental shuttle walk test (ISWT), as well as various step tests, provide feasible approaches to estimate aerobic capacity and monitor functional changes. Although these methods have limitations in precision compared with CPET, they offer clinically meaningful information for exercise prescription and follow-up. In addition, frailty assessments such as the Short Physical Performance Battery, Timed Up and Go test, and handgrip strength can complement functional evaluation, particularly in older adults. Exercise prescription without CPET should adopt a conservative and individualized approach. Initial low-intensity exercise with gradual progression is recommended, with close monitoring for symptoms and adverse responses. When center-based CR is not feasible, home-based programs with patient education and cautious intensity progression can be considered. In conclusion, although CPET remains the standard, alternative functional assessments combined with prudent clinical judgment allow safe and effective CR even in its absence.

Key Words

Cardiac rehabilitation, Exercise test, Risk assessment, Physical functional performance

Received : May 1, 2026 | Accepted : June 17, 2026

<https://doi.org/10.53476/acpr.2026.6.1.16>

Corresponding author : Jang Woo Lee, M.D., Ph.D.

Department of Physical Medicine and Rehabilitation, National Health Insurance Service Ilsan Hospital, 100, Ilsan-ro, Ilsandong-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do 10444, Republic of Korea

Tel : +82-31-900-3509, E-mail : medpia29@nhimc.or.kr

서론

심폐운동부하검사(cardiopulmonary exercise test, CPET)는 환자의 심폐체력을 객관적으로 평가하고 운동 중 발생할 수 있는 심혈관 사건의 위험을 계층화한다. 또한, 개별화된 운동처방의 근거를 제공하며, 치료 경과를 추적 관찰하기 위한 지표로 활용된다[1]. 운동 중 심혈관계 및 호흡기계 반응뿐만 아니라 운동 중 증상 등을 종합적으로 평가할 수 있어 CPET는 심장재활 프로그램 설계를 위한 필수적인 검사이다. American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation의 가이드라인에서는 CPET 검사 결과에 기반하여 운동 중 심장 발작 가능성을 저위험, 중위험, 고위험으로 분류한다. 이는 운동 강도 설정 및 모니터링 전략에 중요한 영향을 미친다. CPET 과정에서 심실성 부정맥, ST-분절 변화, 비정상적인 혈역학적 반응, 협심증이나 어지럼증과 같은 유의미한 증상이 발생하는 경우에 해당 환자는 운동 중 심혈관 사건의 위험이 높은 것으로 분류된다[2]. 고위험군의 환자에서는 운동 중 심혈관계 지표에 대한 더욱 면밀한 주의가 필요하며, 심장 발작 발생 시 즉각적인 대처가 가능하도록 준비해야 한다.

그러나 모든 환자에서 CPET를 시행할 수 있는 것은 아니다. 먼저, 의료기관 요인으로 검사를 위한 장비나 인력이 구축되어 있지 않은 경우가 있다. 실제로 해외 자료에 따르면, 미국 중서부 지역에서는 약 33%의 심장재활 기관에서만 CPET를 시행하고 있으며[3], 네덜란드에서도 약 3분의 1에 해당하는 기관이 CPET 없이 심장재활 프로그램을 운영하고 있는 것으로 보고되었다[4]. 우리나라의 경우 심장재활 기관의 수가 미국, 일본, 호주, 유럽 등과 비교하여 인구 수 대비 적은 편이나[5], 국내에서 심장재활을 시행하는 대부분의 기관에서는 CPET 장비를 보유하고 있는 것으로 파악된다(unpublished data). 따라서 우리나라에서 CPET 없이 심장재활을 실시하는 경우의 대부분은 환자 요인이 될 것으로 예상된다. 급성 심혈관 질환에 대한 치료가 완료되지 않았거나 혈역학적으로 불안정한 경우는 CPET의 절대적 금기에 해당한다[6]. 이와 더불어, 트레드밀에 익숙하지 않은 고령 환자나 다양한 내·외과적 질환을 가진 환자, 운동 수행 능력이 현저히 제한된 환자에서는 검사 과정 중 안전 문제가 우려되어 CPET를 현실적으로 적용하기 어려운 경우가 많다.

이러한 현실을 고려할 때, 일부 환자들에서는 CPET 없이도 운동 능력을 평가하고 안전한 운동처방을 수립할 수 있는

실용적인 대안이 필요하다. 특히, 현장 기반 보행 검사(field-based walk test)나 스텝 검사(step test)와 같은 간편하면서도 비교적 안전한 평가 도구들은 CPET의 대안으로서, 제한적이긴 하나 위험도 분류, 운동 강도 설정 및 추적 관찰에 활용할 수 있다. 본 종설에서는 CPET를 시행하기 어려운 상황에서 활용 가능한 다양한 평가 방법과 운동처방 전략을 제시하고자 한다.

본론

1) CPET의 대안으로서 활용할 수 있는 검사들

CPET의 대안으로서 최대산소소모량(maximal oxygen consumption, VO_{2max}) 혹은 최고산소소모량(oxygen consumption, VO_{2peak})을 추정할 수 있는 다양한 검사들이 있다. 검사 방식에 따라 field-based walk test와 step test가 있고, 검사 중 운동 강도를 설정하는 방식에 따라 자가 속도 조절(self-paced) 및 점증 부하 방식으로 구분된다. 검사별로 측정하는 지표도 심박수, 보행 거리, 보행 속도, 스텝 수 등으로 다양하다. 이들 검사들은 산소소모량을 직접 측정하기보다 추정하는 방식이므로 실제 측정치와는 차이가 있을 수 있다. 그럼에도 CPET를 시행하기 어려운 경우에 현실적인 대안이 될 수 있으며, 치료 전후 효과를 추적하는 용도로서도 적합하다. 이에 본 논문에서는 대표적인 검사 방법들을 소개하고자 한다. 다만, 여기에 제시된 것들 외에도 다양한 검사 방법들이 존재하며, 개별 연구에서 기존의 검사를 수정 혹은 보완한 형태로 제시하는 경우도 있다. 하지만 큰 틀에서는 검사의 원리와 방법이 아래 기술된 검사들에서 크게 벗어나지 않으므로, 이에 대한 이해를 바탕으로 한다면 변형된 검사 방법을 파악하고 적용하는 데 크게 어렵지 않을 것이다.

(1) Field-based walk test

Field-based walk test는 유산소 운동능력을 평가하는 데 있어 CPET의 가장 대표적인 대안으로 활용된다. 장비 의존도가 낮고 임상에서 쉽고 비교적 안전하게 시행할 수 있다는 장점이 있다. 이 중에서 6분 보행 검사(6-minute walk test, 6MWT)와 점증 부하 셔틀 보행 검사(incremental shuttle walk test, ISWT)가 임상에서 가장 널리 쓰이고 근거도 많이 축적되어 있다.

Table 1. Estimation of Peak Oxygen Consumption Using the 6-Minute Walk Test

Author	Subjects	VO ₂ peak or max (mL/kg/min)	6MWD (m)	Regression equation to HRedict oxygen consumption	Model performance		
					r	r ²	SEE
Cahalin et al. (1996) [49]	Advanced heart failure (n = 45)	12.2 ± 4	310 ± 100	0.03 × 6MWD + 3.98	0.64	0.42	3.32
Kim et al. (2008) [50]	Korean Male CAD (n = 161)	34.9 ± 5.9	558.2 ± 72.9	37.73 + (0.06 × 6MWD) + (- 0.12 × age) + (- 0.11 × height) + (0.10 × weight) + (- 0.18 × abdominal circumference)	0.795	0.632	3.66
	Female (n = 64)	27.4 ± 5.9	487.6 ± 64.6	-16.26 + (0.06 × 6MWD) + (- 0.10 × age) + (0.06 × height) + (0.05 × weight) + (0.07 × abdominal circumference)	0.799	0.638	3.74
Ross et al. (2010) [51]	1,083 cardiopulmonary patients (11 studies)	14.3 ± 4.8	393 ± 115	0.023 × 6MWD + 4.948	0.59	0.35	1.1
Burr et al. (2011) [52]	Healthy working-aged adults (n = 44)	Male: 41.6 ± 7.5; Female: 36.0 ± 7.3	Male: 698.2 ± 55.6; Female: 655.9 ± 62.8	70.161 + (0.023 × 6MWD) - (0.276 × weight) - (6.79 × sex, where male = 0, female = 1) - (0.193 × resting HR) - (0.191 × age)	0.49	0.724	
Mandic et al. (2013) [53]	Stable CAD (n = 58)	19.8 ± 5.1	616.4 ± 128.5	0.029 × 6MWD + 2.109	0.719	0.517	3.59
				0.015 × 6MWD + 0.239 × 30-second chair stands (n) - 0.218 × body fat (%) + 12.258	0.855	0.731	2.75
Sperandio et al. (2015) [54]	Healthy adults (n = 86)	35 ± 11	608 ± 97	- 2.863 + (0.0563 × 6MWD)	0.87	0.76	
Mänttari et al. (2018) [55]	Healthy adults (n = 75)	34.4 ± 7.6	652 ± 74	Male: 110.546 + 0.063 × 6MWD - 0.250 × age - 0.486 × BMI - 0.420 × height - 0.109 × HR; Female: 22.506 - 0.271 × weight + 0.051 × 6MWD - 0.065 × age	0.90	0.82	3.6
Jalili et al. (2018) [56]	Healthy boys (n = 349)	41.24 ± 6.00	716 ± 60	12.701 + (0.06 × 6MWD) - (0.732 × BMI)	0.875	0.79	2.91
Hong et al. (2019) [28]	Young healthy Koreans (n = 73)	37.3 ± 8.8	715 ± 94.9	61.1 - 11.1 × sex (male = 1, female = 2) - 0.4 × age - 0.2 × weight - 0.2 × (6MWD × 10 ⁻¹)	0.87	0.744	4.6
Liu et al. (2021) [57]	Young healthy adults (n = 62)	31.5 ± 6.0	671 ± 97	- 19.248 + (0.076 × 6MWD)	0.74	0.549	4.08
Šagát et al. (2023) [58]	Healthy older adults (n = 233)	Male: 30.5 ± 9.0; Female: 26.9 ± 6.6	Male: 678.3 ± 59.1; Female: 653.8 ± 49.9	59.44 - 3.83 × sex (1 = men, 2 = women) - 0.56 × age - 0.48 × BMI + 0.04 × 6MWD	0.85	0.723	3.99

VO₂: oxygen consumption, 6MWD: 6-minute walk distance, SEE: standard error of estimate, HR: heart rate, CAD: coronary artery disease, BMI: body mass index

6MWT는 환자가 6분 동안 30미터 길이의 트랙을 본인의 보행 속도로 가능한 한 많이 왕복하도록 하여 보행한 거리를 기록하는 검사이다[7]. 다양한 연구에서 6분 보행 거리를 통해 VO_2 peak을 추정하는 회귀식이 제안되었으며, 실제 CPET를 통해 측정한 값과 중등도 이상의 상관관계를 보이는 것으로 보고하였다. 단, 6MWT만으로는 예측력이 떨어지기 때문에 많은 연구에서 나이, 키, 성별 등의 변수를 추가로 보정한 식을 제시하고 있다(Table 1). 6MWT는 실시 방법이 단순하고 저렴하며 안전성이 높은 검사이다. 환자에게 검사 방법을 이 해시키기도 편하고, 보행할 때 지팡이나 보행기와 같은 보조

기기가 필요한 환자들에서도 검사가 가능하다는 장점이 있다. 하지만, 환자가 보행 속도를 스스로 선택하기 때문에 최대한의 보행 능력이 도출되지 않는 경우가 있다[8-11]. 또한, 보행 능력이 이미 우수한 환자에서는 천정 효과가 있어 6분 보행 거리가 500 미터 이상인 경우에는 민감도가 떨어진다는 단점이 있다[12].

셔틀 보행 검사는 9미터 간격의 트랙에서 왕복하여 보행 능력을 평가하는 도구로서 점증 부하와 지구력 셔틀 보행 검사로 나뉜다. 이 중에서 유산소 운동능력을 평가하기 위한 방법은 ISWT로, 보행 속도를 점진적으로 빠르게 하여 왕복하도

Table 2. Estimation of Peak Oxygen Consumption Using the Incremental Shuttle Walk Test

Author	Subjects	VO_2 peak or max (mL/kg/min)	ISWD (m)	Regression equation to predict oxygen consumption	Model performance		
					r	r ²	SEE
Singh et al. (1994) [59]	COPD (n = 19)	14.2 ± 4.1	375 ± 137	4.19 + 0.025 × ISWD (m)	0.88	0.77	
Morales et al. (1999) [60]	Chronic heart failure (n = 46)	17.8 ± 4.4	503 ± 150	5.9 + 0.023 × ISWD (m)	0.83	0.69	2.55
				0.024 × ISWD (m) – 0.06 × weight + 0.06 × age + 6.44	0.86	0.74	2.37
Lewis et al. (2001) [61]	Cardiomyopathy before transplant (n = 25)	15.2 ± 4.4	401 ± 147	6.4 + 0.022 × ISWD (m)	0.73	0.53	
Satake et al. (2003) [62]	COPD (n = 12)	13.86 ± 3.62	360.8 ± 155.5	8.0 + 0.02 × ISWD (m)	0.85	0.72	
Turner et al. (2004) [63]	COPD (n = 20)	14.2 ± 2.9	339.0 ± 97.2	6.82 + 0.02 × ISWD (m)	0.73	0.53	
Fowler et al. (2005) [64]	CABG (n = 39)	21.0 ± 4.5	487 ± 147.6	7.81 + 0.03 × ISWD (m)	0.86	0.74	
Struthers et al. (2008) [65]	General surgical setting (n = 50)	18.7 ± 5.1	284 ± 207	13.43 + 0.02 × ISWD (m)	0.75	0.57	
Mandic et al. (2013) [53]	Stable CAD (72.3 ± 6.2)	19.8 ± 5.1	Peak speed 6.5 ± 1.8 km/h	3.021 × shuttle speed (km/h) × 0.007	0.717	0.514	3.59
				1.546 × shuttle speed (km/h) - 0.219 × body fat (%) + 0.296 × 30-second chair stands (n) + 11.399	0.853	0.728	2.76
Lima et al. (2019) [66]	Healthy woman	30.35 ± 4.81	821.1 ± 118.9	19.793 + 0.02 × ISWD (m) - 0.236 × age	0.51	0.363	

VO_2 : oxygen consumption, ISWD: incremental shuttle walk distance, SEE: standard error of estimate, COPD: chronic obstructive pulmonary disease, CABG: coronary artery bypass graft, CAD: coronary artery disease

록 하여 총보행 거리를 측정한다. 총 12단계로 검사가 이루어지며 1단계에서 0.5 m/s의 속도로 시작하여 단계별로 0.17 m/s씩 보행 속도를 올리도록 한다. 셔틀의 수도 1단계에서 3회로 시작하여 단계별로 1회씩 증진시켜서 12단계에서는 14의 셔틀을 보행하도록 한다. 각 단계에서 보행 속도에 맞는 외부 신호음이 들리기 때문에 단계가 높아질수록 신호음의 간격이 짧아지게 된다. 환자에게는 다음 신호음이 올리기 전에 반대쪽 표지판까지 보행을 완료하도록 지시한다[13]. 2회 연속으로 보행을 완료하지 못했을 경우에 검사를 중단하고 보행 거리를 기록한다. 6MWT와 마찬가지로 여러 연구에서 ISWT 검사 결과에 의거하여 VO_{2peak} 을 예측할 수 있는 회귀식을 제시하였다(Table 2). 6MWT와 ISWT 모두 각각의 회귀식 개발

에 사용된 인종 및 질환군이 상이하여 어느 식이 더 우수한지는 아직 명확하게 규명되지 않았지만, 전반적으로 6MWT보다 ISWT의 회귀식이 간결하다는 것을 알 수 있다. 6MWT와 비교하여 ISWT는 운동 강도를 점진적으로 늘리는 방식이기 때문에 CPET에 좀 더 유사한 심박수 반응을 도출할 수 있다. 6MWT에서는 비교적 심박수가 일정하게 유지되는 반면, ISWT에서는 운동 강도가 증가할수록 심박수도 점차 증가하는 반응이 유도된다[14]. ISWT는 최대 운동에 보다 근접한 반응을 유도할 수 있기 때문에 VO_{2peak} 추정에도 더 높은 예측력이 있는 것으로 보고되고 있다[15–17]. 따라서 CPET가 불가능한 상황에서 VO_{2peak} 을 예측하는 방법으로는 6MWT보다 ISWT가 더 선호된다(Table 3). ISWT에서는 외부에서 속

Table 3. Comparison of the 6-Minute Walk Test and Incremental Shuttle Walk Test for Estimating Oxygen Consumption

Author	Participation/subject	Findings/comments
Morale et al. (1999) [60]	Chronic heart failure	Correlation with VO_2 : ISWT, $r = 0.83$; 6MWT, $r = 0.69$ ROC: ISWT AUC 0.97; 6MWT AUC 0.83 ($P = 0.02$)
ATS Statement (2002) [7]	Various cardiopulmonary diseases	ISWT (compared to 6MWT) Closer to maximal exercise Stronger correlation with peak VO_2 Limitations of ISWT: less widely validated, less commonly used, and may carry a higher cardiovascular risk
Satake et al. (2003) [62]	COPD	ISWT vs VO_2 : $r = 0.85$ 6MWT vs VO_2 : $r = 0.69$
Turner et al. (2004) [63]	COPD	No significant difference for prediction of peak VO_2 $6.82 + 0.02 \times \text{ISWT (m)}$, $r = 0.73$, $r^2 = 0.53$ $2.76 + 0.02 \times \text{6MWT (m)}$, $r = 0.73$, $r^2 = 0.54$
Pulz et al. (2008) [19]	Chronic heart failure	No significant difference Correlation with peak VO_2 : 6MWT, $r = 0.76$; ISWT, $r = 0.79$ Prediction of peak VO_2 (14 mL/kg/min): 6MWT AUC, 0.89; ISWT AUC 0.91
Lim et al. (2022) [14]	Myocardial infarction	ISWT ($r = 0.823$) distance was more strongly correlated with peak VO_2 than was 6MWT ($r = 0.776$) HRmax showed a stronger correlation with CPET in ISWT ($r = 0.815$) than in 6MWT ($r = 0.664$) Changes in HR in the 6MWT plateaued after the initial increase, while HR in the ISWT and CPX increased gradually
Chae et al. (2022) [67]	COPD (meta-analysis of 12 research)	Significant correlation between peak VO_2 and 6MWT and ISWT distances (6MWT: $r = 0.65$, 95% CI 0.61–0.70; ISWT: $r = 0.81$, 95% CI 0.74–0.85; $P < 0.0001$) Heterogeneity was lower in ISWT than in 6MWT (6MWT: $I^2 = 56\%$, $P = 0.02$; ISWT: $I^2 = 0\%$, $P = 0.71$)

ISWT: incremental shuttle walk test, 6MWT: 6-minute walk test, ROC: receiver operating characteristic, AUC: area under curve, VO_2 : oxygen consumption, COPD: chronic obstructive pulmonary disease, HR: heart rate

도 조절을 해주기 때문에 환자의 동기에 따른 편차가 줄어들고 재현성이 높다는 장점이 있다. 그러나 검사 프로토콜이 비교적 복잡하여 환자에게 이해시키기가 어렵기 때문에 일부 연구에서는 1-2회의 연습 검사를 권고하기도 한다[18,19].

종합하면, 6MWT는 접근성과 안전성 측면에서 우수하며, ISWT는 보다 정밀한 운동능력 평가가 필요한 경우에 유용한 대안이 될 수 있다. 임상에서는 환자의 기능 수준과 검사 수행 가능성을 고려하여 적절한 검사를 선택하는 것이 중요하다.

(2) Step test

Step test는 일정 높이의 발판을 두고 반복적으로 오르고 내리기를 수행하는 검사로 field-based walk test보다 제한된 공간에서도 시행이 가능하다는 장점이 있다. 하지만 근지구력이나 협응 능력에 의해 영향을 받을 가능성이 있고, 특히 고령에서는 낙상의 위험을 고려해야 한다. 하나의 스텝 케이던스(cadence)는 ‘한 발 올리기 - 반대측 발 올리기 - 한 발 내리기 - 반대측 발 내리기’로 구성된다. 검사 방식에 따라서 회복 심박수 기반 검사, 자가 속도 검사, 점진적 부하 검사로 구분할 수 있다.

Harvard step test, Queen's College step test, YMCA 3-minute step test와 같은 검사들은 과제 수행 후 회복 심박수를 측정하여 운동 능력을 평가한다. Harvard step test에서는 남성에서 50 cm, 여성에서 43 cm의 발판을 사용하고, cadence는 분당 30회로 설정한다. 최대 5분간 테스트를 수행하고 나서 운동 중단 후 1분마다 총 3회의 심박수를 측정한다. 각 시점마다 측정한 심박수(1분, 2분, 3분 후 심박수를 각각 HR_1 , HR_2 , HR_3 로 표기)와 총운동 시간을 기반으로 아래와 같은 공식에 의거 Physical fitness index를 계산한다[20,21].

$$\text{Physical fitness index} = \frac{100 \times \text{Exercise Duration (sec)}}{2 \times (HR_1 + HR_2 + HR_3)}$$

Physical fitness index의 수치에 따라 신체 기능을 5 단계[excellent (90 초과), good (80-89), average (65-79), low average (55-64), poor (55 미만)]로 구분하는데 이는 자율신경계 기능과 연관성이 있다고 알려져 있다[22]. 하지만 산소소모량 추정에 대한 신뢰할 만한 근거 자료는 아직 발표된 것이 없다. Queen's college step test는 41.3 cm 높이의 발판을 사용하는데, 발판의 높이는 경기장 계단식 좌석(bleacher)의 높이를 감안하여 개발되었다[23]. 남자는 분당 24회, 여자는

분당 22회의 케이던스로 최대 3분까지 운동하도록 하며, 운동 종료 후 5-20초의 15초간 심박수를 측정한다. 남성에서는 $111.33 - (0.42 \times \text{심박수})$, 여성에서는 $65.81 - (0.1847 \times \text{심박수})$ 의 공식을 통해 $VO_{2\max}$ 를 추정한다[24,25]. Queen's college step test의 발판 높이가 너무 높아 낙상의 위험이 있고 심폐 능력보다는 지구력에 의해 검사 결과가 영향을 받을 가능성이 있다는 점이 단점으로 지적된다[26].

YMCA 3-minute step test는 Queen's college step test와 시행 방법이 유사하다. 발판의 높이는 30 cm, cadence는 남녀 모두에서 분당 24회로 한다. 운동 시간은 최대 3분이고, 심박수는 종료 후 1분에 측정하게 된다[27]. 다양한 연구에서 $VO_{2\max}$ 의 회귀식을 제시하였으며[28-31], Queen's college step test보다 추정 능력이 우수한 것으로 평가된다[32].

6-minute step test는 20 cm 높이의 발판을 두고 6분간 운동시키는 검사이다. Cadence를 정하지 않고 환자가 본인의 능력에 맞게 가능한 빠른 속도로 검사를 수행하도록 하여 총 스텝수를 측정하는 검사이다[33]. 환자가 스스로 운동 강도를 선택한다는 점에 있어 6MWT의 step test 버전이라고 보면 된다. 한 연구에서는 심부전 환자에서 $350.22 + 7.333 \times \text{총스텝수}$ 의 공식으로 $VO_{2\text{peak}}$ 를 추정하였고 0.71의 비교적 높은 상관계수를 보였다[34].

Chester step test는 단계별로 cadence를 증가시키는 점진적 부하 검사로, 각 단계에서 심박수를 기록하여 $VO_{2\max}$ 를 추정한다. 발판의 높이는 나이와 평소 활동량에 따라 15-30 cm 중 하나를 선택하며 2분씩 총 5단계로 검사를 시행한다. Cadence는 1단계에서 분당 15회이며 한 단계가 올라갈수록 분당 5회씩 증가시켜 5단계에 이르러서는 분당 35회로 한다. 각 단계가 끝날 때마다 심박수와 운동자각도(rate of perceived exertion, RPE)를 측정하고, 심박수가 나이 기반 최대심박수($220 - \text{나이}$)의 85%, RPE가 14 미만이면 다음 단계로 진행한다. 각각의 발판의 높이와 검사 단계에 따른 산소소모량 예측 수치를 제시하고 있으며, 단계별로 측정된 심박수와 산소소모량 예측치의 선형 관계를 이용하여 최대심박수에 이르렀을 때의 $VO_{2\max}$ 값을 계산한다[35,36]. 상관계수가 0.9 이상으로 우수한 성능으로 $VO_{2\max}$ 를 추정할 수 있다[37].

(3) 노쇠 평가

산소소모량을 추정할 수는 없지만 근감소증이나 노쇠 평가에 사용하는 검사들을 통해 CPET의 대안으로 심장재활 환자들의 위험도 평가에 활용할 수 있는 검사들이 있다. 이러

한 노쇠 평가 도구들은 CPET와 직접적인 생리학적 지표를 제공하지는 않지만, 환자의 전반적인 기능 상태와 안전한 운동 수행 가능성을 판단하는 데 중요한 정보를 제공한다. 간단 신체 수행 검사(Short physical performances battery, SPPB)는 균형, 보행 속도, 의자 일어서기의 3가지 항목으로 구성되며 항목당 4점 만점으로 총 12점의 평가도구이다. 점수가 높을수록 기능이 좋다는 것을 의미한다. 균형 검사는 일반 자세(side-by-side stance), 반 일렬 자세(semi-tandem stance), 일렬 자세(tandem stance)를 얼마나 오랫동안 유지하는지 시간을 기록하여 측정한다. 보행 속도는 4 m 거리를 걷는 데 걸리는 시간을 측정하며, 의자 일어서기는 팔짱을 낀 채 의자에

서 5회 일어서고 앉기를 반복하는 데 걸리는 시간을 측정한다[38]. Timed Up and Go (TUG) 검사는 의자에서 일어나서 3 m를 걸은 후 회전하여 다시 3 m를 걸어서 의자에 앉는 데까지 걸리는 시간을 측정한다[39]. 악력은 근감소증 및 노쇠를 평가하는 주요 검사 중 하나이다[40].

최근 6MWT, TUG, SPPB, 악력 등을 기반으로 하여 운동 중 심혈관 사고를 예측하는 red, yellow, green flag로 예측하는 모델이 제안되었다(Table 4). Red flag에 해당하는 환자는 구조화된 운동 훈련을 제한하고 심혈관 질환을 재평가하고 안정화를 하도록 한다. 이후 재평가하여 심장재활 실시 여부를 결정하도록 한다[41]. 이러한 접근은 CPET 기반 위험도 분

Table 4. Alternative Test-Based Risk Stratification in Cardiac Rehabilitation Patients without Cardiopulmonary Exercise Testing. Reproduced from Komici et al. (2026), Front Sports Act Living, under CC BY license [41].

Test	Red flag (Defer exercise/Urgent evaluation)	Yellow flag (Modify exercise/Close monitoring)	Green flag (Safe to proceed/progress)
6MWT	Distance <150 m (severe impairment) Unable to complete test (stops due to symptoms) Significant desaturation (O ₂ sat < 88% on room air) Severe dyspnea/chest pain during test	Distance 150–300 m (moderate impairment) Completed but with symptoms (dyspnea, leg pain) Oxygen saturation 88–92% No improvement or decline > 30 m (MCID) from baseline after 4–12 weeks of exercise	Distance > 300 m (mild impairment or normal) Completed without significant symptoms O ₂ sat > 92% throughout Improvement ≥ 30 m (MCID) after exercise program indicates meaningful benefit
Handgrip strength	< 16 kg (women) or < 27 kg (men) and declining over time Severe sarcopenia with functional impairment Combined with very low SPPB (< 4)	16–20 kg (women) or 27–32 kg (men) - borderline sarcopenia No improvement or decline > 5–6 kg (MCID) after resistance training program	≥ 20 kg (women) or ≥ 32 kg (men) – normal Improvement ≥ 5–6 kg (MCID) after resistance training indicates meaningful strength gain Safe to progress resistance training
Timed Up and Go	> 20 s (very high fall risk) Unable to complete without assistance Near-fall or loss of balance during test Combined with history of recent falls	13.5–20 s (moderate-high fall risk) Completed but slow, unsteady No improvement or decline > 3.5 s (substantial change) after balance training	< 13.5 s (low fall risk) Completed smoothly, steady Improvement ≥ 3.5 s (substantial change) or ≥ 2.5 s (MCID) after balance training indicates meaningful fall risk reduction
SPPB score	0–3 points (high risk-severe functional impairment, very high fall/disability risk) Score declining over time	4–6 points (moderate risk-moderate functional impairment) No improvement or decline > 1 point (MCID) after exercise	7–12 points (low risk-mild or no impairment) Improvement ≥ 1 point (MCID) or ≥ 2 points (substantial change) after exercise indicates meaningful functional gain

6MWT: 6 minute walk test, MCID: minimal clinically important difference, SPPB: short physical performance battery

류에 비해 정밀도는 낮지만, 임상에서 실제로 적용 가능한 실질적인 전략으로서 의미가 있다. 하지만 단일 검사에 의존하지 말고 여러 기능적 평가 결과를 종합적으로 해석해야 한다. 또한 환자의 병력, 신체 검사, 영상 및 혈액 검사 결과 등을 토대로 임상 전문가로서의 판단이 중요하다.

2) 운동부하검사 결과가 없을 때 심장재활 처방

CPET 검사 수행이 불가능한 환자라면 운동의 위험성 또한 높은 경우가 대부분일 것으로 생각된다. 따라서 이러한 환자들에서는 가능한 한 병원에서 밀접한 감시 아래 심장재활 치료를 시행하는 것이 적절하다. 하지만 실제 임상에서는 비용, 교통 등의 문제로 현실적으로 병원 기반 심장재활도 불가능한 경우도 있다. 각각의 경우 적용할 수 있는 심장재활 전략은 아래와 같다.

(1) 병원 기반 심장재활이 가능한 경우의 심장재활

CPET 없이 병원 기반 심장재활을 시행하는 경우, 초기 운동처방은 보수적으로 설정하고 점진적으로 증가시키는 것이 원칙이다. 일반적으로 초기 운동 강도는 안정 시 심박수 + 20-30 bpm 또는 RPE 11-14 수준에서 시작하며, 약 10분 정도의 짧은 운동 시간으로 시작하여 매 회기마다 1-5분씩 증가시켜 최종적으로 40-60분의 운동 시간을 목표로 한다. 이후 환자가 증상 없이 운동을 잘 견디는 경우 RPE 12-16 범위까지 점진적으로 강도를 증가시킬 수 있다. 먼저 목표 운동 시간에도달한 후에 운동 강도를 증가시키도록 한다. 고강도 인터벌 훈련보다는 중등도 지속 운동이 우선적으로 권장되며, 운동 중에는 흉통, 호흡곤란, 어지럼증, 부정맥, 비정상적 혈압 반응 등의 증상을 지속적으로 모니터링해야 한다[42]. 운동 관련 유의미한 위험 증상이 없고 운동 강도 증가에 잘 견디며, 충분한 동기를 가진 환자에서는 좀 더 빠르게 운동 강도를 높일 수 있다[37]. 운동 강도가 적절하게 증가되지 않을 경우에는 좋지 않은 예후를 보일 수 있어 주의해야 한다.

말초동맥질환 환자는 최대운동능력에 도달하기 전에 파행으로 운동이 제한되는 경우가 많으며, 이로 인해 충분한 심박수 또는 혈압 반응이 나타나지 않을 수 있다. 따라서 이러한 환자에서는 일반적인 심폐운동부하검사 기반 처방과는 다른 접근이 필요하다. 운동은 편안한 속도와 0% 경사에서 시작하여, 약 5-10분 이내에 하지 통증이 간헐적 파행 척도(Intermittent Claudication Rating Scale)의 4점 만점 기

준, 2-3점 수준에 도달하도록 설정하는 것이 권장된다[43]. 하지 통증이 발생할 경우에는 앉거나 서서 휴식을 취하여 통증이 완전히 소실될 때까지 기다린 후 다시 보행을 재개하는 방식의 간헐적 운동을 반복한다. 이러한 운동-휴식 주기를 통해 총운동 시간은 약 60분을 목표로 하되, 실제 보행에 해당하는 누적 운동 시간은 30-45분 수준에 도달하도록 한다. 운동 강도는 환자가 10분 이상 연속 보행이 가능해지는 시점에서 점진적으로 증가시키며, 속도는 약 0.2 km/h씩 또는 경사는 1%씩 단계적으로 상향 조정할 수 있다. 이후에도 동일한 방식으로 5-10분 내에 하지 통증이 2-3점 수준에 도달하도록 강도를 유지하면서, 누적 운동 시간이 30-45분에 도달하도록 반복한다[43,44]. 하지 통증이 없는 무증상 환자의 경우에는 위에서 언급한 일반적인 심장재활 운동처방 프로토콜을 적용할 수 있다.

심부전 환자에서의 운동처방은 다른 심혈관 질환에 비해 안전성을 최우선으로 고려하여 조금 더 조심스럽게 접근한다. 초기 운동 강도는 RPE 11-13 수준에서 시작하며, 환자의 적응 상태에 따라 12-14 수준까지 조정할 수 있다. 운동 시간은 초기에는 짧은 시간으로 시작하되 점차 증가시켜 최소 30분 이상의 지속적인 운동이 가능하도록 하는 것이 바람직하며, 이후에는 운동 강도를 증가시키는 방향으로 처방한다. 심장재활에서 권장되는 운동량은 주당 약 3-7 대사당량·시간을 목표로 한다. 운동 중에는 부정맥, 호흡곤란, 비정상적인 혈압 또는 심박수 반응과 같은 이상 반응에 대한 면밀한 모니터링이 필요하다. 특히 흉통 또는 유의한 호흡곤란, 어지럼증 또는 실신 전 증상, 부정맥, 비정상적인 혈압 반응이 발생하는 경우에는 즉시 운동을 중단해야 한다[45].

(2) 병원 기반 심장재활이 불가능한 경우의 심장재활

병원에서 밀접한 감시 아래 운동이 불가능한 경우에는 더욱 보수적인 접근이 필요하다. RPE의 11-13 정도의 강도 혹은 안정 시 심박수 + 20 bpm 정도의 운동 강도로 시작한다. 역시 우선적으로 운동 시간을 먼저 확보한 후 운동 강도를 늘리는 데 강도를 늘리는 것은 더욱 신중하게 접근할 필요가 있다. 활용 가능한 원격 모니터링 기기를 이용하여 감시하는 방안을 고려해 볼 수 있으나 아직까지 임상 현장에서 활용 가능성은 매우 제한적이다. 따라서 운동 중 발생할 수 있는 다양한 이상 반응과 증상에 대해 교육하고 유의미한 증상이 없는 범위 내에서 운동하도록 해야 한다. 운동을 하지 않는 것보다 아주 낮은 강도라도 신체 활동을 유지하도록 하는 것이 환자의 장

기 예후를 위해서는 바람직하다[46,47].

최근 연구에서 SPPB 4-9점, 평균 80세의 초고령 환자들에게서 심근경색 이후 30, 60, 90, 180, 270, 360일 되는 시점에 병원에 방문하게 하여 운동 재활을 제공한 결과 사망률과 계획되지 않은 입원이 유의미하게 감소했다는 것을 발표하였다[48]. 트레드밀에서 시속 2.0 km로 시작하여 30초 간격으로 시속 0.3 km씩 속도를 증가시켜 RPE 11-13 수준까지 이르러 총 1 km를 보행하도록 훈련하였다. 이는 신체 기능에 제한이 있는 고령 환자에서 활용 가능한 실질적인 전략을 제시해준다. 밀도 높은 심장재활을 제공하는 것이 불가능할 때 정기적인 외래 추적 관찰과 비교적 강도가 낮고 간단한 심장재활만으로도 유의미한 효과를 기대할 수 있다고 생각된다.

결론

CPET는 심장재활에서 운동능력 평가와 위험도 분류, 운동처방의 표준으로 간주되지만, 실제 임상에서는 다양한 이유로 이를 시행하지 못하는 경우가 적지 않다. 이러한 상황에서 field-based walk test, step test, 노쇠 평가와 같은 대체 평가 도구들은 제한적이지만 실용적인 대안이 될 수 있다. 이들 검사는 CPET에 비해 생리학적 정밀도는 낮지만, 환자의 기능 상태와 운동 수행 능력을 평가하고 위험도를 계층화하는 데 활용 가능한 정보를 제공한다. 또한 이러한 평가 결과를 바탕으로 보수적인 접근에서 시작하여 점진적으로 운동 강도를 증가시키는 전략을 통해 안전한 심장재활을 수행할 수 있다. 향후에는 웨어러블 디바이스와 원격 모니터링 기술의 발전을 통해 CPET 없이도 보다 정밀한 운동처방이 가능해질 것으로 기대된다. 그러나 이러한 기술적 접근과 함께, 환자의 임상 상태를 종합적으로 판단하는 임상사의 역할은 여전히 중요하다. 따라서 CPET가 불가능한 상황에서도 환자의 안전을 최우선으로 고려한 개인 맞춤형 심장재활 전략이 필요하다.

REFERENCES

1. Brazile TL, Levine BD, Shafer KM. Cardiopulmonary exercise testing. *NEJM Evid* 2025;4:EVIDra2400390.
2. Ades PA. Outpatient CR and SP. In: American Association of Cardiovascular Pulmonary Rehabilitation, editor. Guidelines for cardiac rehabilitation programs. 6th ed. Champaign (IL): Human Kinetics Publishers; 2020. p. 49-60.
3. O'Neill JO, Young JB, Pothier CE, Lauer MS. Peak oxygen consumption as a predictor of death in patients with heart failure receiving beta-blockers. *Circulation* 2005;111:2313-8.
4. Vromen T, Spee RF, Kraal JJ, Peek N, van Engen-Verheul MM, Kraaijenhagen RA, et al. Exercise training programs in Dutch cardiac rehabilitation centres. *Neth Heart J* 2013;21:138-43.
5. Turk-Adawi K, Supervia M, Lopez-Jimenez F, Pesah E, Ding R, Britto RR, et al. Cardiac rehabilitation availability and density around the globe. *EClinicalMedicine* 2019;13:31-45.
6. Khadanga S. Medical evaluation and exercise testing for outpatient CR. In: American Association of Cardiovascular Pulmonary Rehabilitation, editor. Guidelines for cardiac rehabilitation programs. 6th ed. Champaign (IL): Human Kinetics Publishers; 2020. p. 33-48.
7. ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med* 2002;166:111-7.
8. Del Buono MG, Arena R, Borlaug BA, Carbone S, Canada JM, Kirkman DL, et al. Exercise intolerance in patients with heart failure: JACC state-of-the-art review. *J Am Coll Cardiol* 2019;73:2209-25.
9. Fletcher GF, Ades PA, Kligfield P, Arena R, Balady GJ, Bittner VA, et al. Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2013;128:873-934.
10. Heidenreich PA, Bozkurt B, Aguilar D, Allen LA, Byun JJ, Colvin MM, et al. 2022 AHA/ACC/HFSA Guideline for the management of heart failure: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on clinical practice guidelines. *Circulation* 2022;145:e895-1032.
11. Forman DE, Arena R, Boxer R, Dolansky MA, Eng

- JJ, Fleg JL, et al. Prioritizing functional capacity as a principal end point for therapies oriented to older adults with cardiovascular disease: a scientific statement for healthcare professionals from the American Heart Association. *Circulation* 2017;135:894-918.
12. Deboeck G, Van Muylem A, Vachiéry JL, Naeije R. Physiological response to the 6-minute walk test in chronic heart failure patients versus healthy control subjects. *Eur J Prev Cardiol* 2014;21:997-1003.
 13. Singh SJ, Morgan MD, Scott S, Walters D, Hardman AE. Development of a shuttle walking test of disability in patients with chronic airways obstruction. *Thorax* 1992;47:1019-24.
 14. Lim HJ, Jee SJ, Lee MM. Comparison of incremental shuttle walking test, 6-minute walking test, and cardiopulmonary exercise stress test in patients with myocardial infarction. *Med Sci Monit* 2022;28:e938140.
 15. Salbach NM, O'Brien KK, Brooks D, Irvin E, Martino R, Takhar P, et al. Reference values for standardized tests of walking speed and distance: a systematic review. *Gait Posture* 2015;41:341-60.
 16. Pepera G, Antoniou V, Karagianni E, Batalik L, Su JJ. Validity and reliability of the six-minute walking test compared to cardiopulmonary exercise test in individuals with heart failure systematic review and meta-analysis. *J Clin Med* 2025;14:8303.
 17. Parreira VF, Janaudis-Ferreira T, Evans RA, Mathur S, Goldstein RS, Brooks D. Measurement properties of the incremental shuttle walk test. a systematic review. *Chest* 2014;145:1357-69.
 18. Agarwal B, Shah M, Andhare N, Mullerpatan R. Incremental shuttle walk test: reference values and predictive equation for healthy Indian adults. *Lung India* 2016;33:36-41.
 19. Pulz C, Diniz RV, Alves AN, Tebexreni AS, Carvalho AC, de Paola AA, et al. Incremental shuttle and six-minute walking tests in the assessment of functional capacity in chronic heart failure. *Can J Cardiol* 2008;24:131-5.
 20. Brouha L. The step test: a simple method of measuring physical fitness for muscular work in young men. *Res Q Am Assoc Health Phys Educ* 1943;14:31-7.
 21. Vangrunderbeek H, Delheye P. Stepping from Belgium to the United States and back: the conceptualization and impact of the Harvard Step Test, 1942-2012. *Res Q Exerc Sport* 2013;84:186-97.
 22. Kim DH, Cho YH, Seo TB. Correlation between physical efficiency index using Harvard step test and heart rate variation in college students. *J Exerc Rehabil* 2022;18:389-94.
 23. Shamsi MM, Alinejad HA, Ghaderi M, Badrabadi K. Queen's college step test predicted VO₂max: the effect of stature. *Ann Biol Res* 2011;2:371-7.
 24. Varghese RS, Dangi A, Varghese A. VO₂ max normative values using Queen's college step test in healthy urban Indian individuals of age group 20-50 years. *Int J Sci Res* 2020;9:803-6.
 25. Kumar SK, Khare P, Jaryal AK, Talwar A. Validity of heart rate based nomogram for estimation of maximum oxygen uptake in Indian population. *Indian J Physiol Pharmacol* 2012;56:279-83.
 26. Rowley TW, Cho C, Swartz AM, Cho Y, Strath SJ. Validation of a series of walking and stepping tests to predict maximal oxygen consumption in adults aged 18-79 years. *PLoS One* 2022;17:e0264110.
 27. Golding LA. YMCA Fitness testing and assessment manual, 4th ed. Champaign (IL): Human Kinetics Publishers; 2000. p.155-7.
 28. Hong SH, Yang HI, Kim DI, Gonzales TI, Brage S, Jeon JY. Validation of submaximal step tests and the 6-min walk test for predicting maximal oxygen consumption in young and healthy participants. *Int J Environ Res Public Health* 2019;16:4858.
 29. Kieu NTV, Jung SJ, Shin SW, Jung HW, Jung ES, Won YH, et al. The validity of the YMCA 3-minute step test for estimating maximal oxygen uptake in healthy Korean and Vietnamese adults. *J Lifestyle Med* 2020;10:21-9.
 30. Lee O, Lee S, Kang M, Mun J, Chung J. Prediction of maximal oxygen consumption using the Young Men's Christian Association-step test in Korean adults. *Eur J*

- Appl Physiol 2019;119:1245-52.
31. Santo AS, Golding LA. Predicting maximum oxygen uptake from a modified 3-minute step test. *Res Q Exerc Sport* 2003;74:110-5.
 32. Castro-Pinero J, Marin-Jimenez N, Fernandez-Santos JR, Martin-Acosta F, Segura-Jimenez V, Izquierdo-Gomez R, et al. Criterion-related validity of field-based fitness tests in adults: a systematic review. *J Clin Med* 2021;10:3743.
 33. Boening A, Scianni AA, Martins JA, Santuzzi CH, Liberato FM, Nascimento LR. Procedures and measurement properties of the 6-min step test: A systematic review with clinical recommendations. *Clin Rehabil* 2024;38:647-63.
 34. Marinho RS, Jurgensen SP, Arcuri JF, Goulart CL, Santos PBD, Roscani MG, et al. Reliability and validity of six-minute step test in patients with heart failure. *Braz J Med Biol Res* 2021;54:e10514.
 35. Buckley JP, Sim J, Eston RG, 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;38:197-205.
 36. Burt D, Forsyth J, Jones S, Buckley J. Assessing the reliability and validity of the Chester step test 2 to predict aerobic capacity. *Meas Phys Educ Exerc Sci* 2025;29:404-11.
 37. Sykes K, Roberts A. The Chester step test—a simple yet effective tool for the prediction of aerobic capacity. *Physiotherapy* 2004;90:183-8.
 38. Welch SA, Ward RE, Beauchamp MK, Leveille SG, Trivison T, Bean JF. The short physical performance battery (SPPB): a quick and useful tool for fall risk stratification among older primary care patients. *J Am Med Dir Assoc* 2021;22:1646-51.
 39. Beauchet O, Fantino B, Allali G, Muir SW, Montero-Odasso M, Annweiler C. Timed up and go test and risk of falls in older adults: a systematic review. *J Nutr Health Aging* 2011;15:933-8.
 40. Lim YJ, Ng YS, Sultana R, Tay EL, Mah SM, Chan CHN, et al. Frailty assessment in community-dwelling older adults: a comparison of 3 diagnostic instruments. *J Nutr Health Aging* 2020;24:582-90.
 41. Komici K, Bianco A, Cuomo A, Bianco R, Illario M, Guerra G, et al. Practical guidelines for exercise prescription in different clinical populations. *Front Sports Act Living* 2026;8:1649549.
 42. Mytinger M, Nelson RK, Zuhl M. Exercise prescription guidelines for cardiovascular disease patients in the absence of a baseline stress test. *J Cardiovasc Dev Dis* 2020;7:15.
 43. Lee JH. Cardiac rehabilitation for the patients with peripheral artery disease. *Ann Cardiopulm Rehabil* 2021;1:50-6.
 44. Gornik HL, Aronow HD, Goodney PP, Arya S, Brewster LP, Byrd L, et al. 2024 ACC/AHA/AACVPR/APMA/ABC/SCAI/SVM/SVN/SVS/SIR/VESS Guideline for the management of lower extremity peripheral artery disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on clinical practice guidelines. *Circulation* 2024;149:e1313-410.
 45. Ades PA, Keteyian SJ, Balady GJ, Houston-Miller N, Kitzman DW, Mancini DM, et al. Cardiac rehabilitation exercise and self-care for chronic heart failure. *JACC Heart Fail* 2013;1:540-7.
 46. Kim Y, Canada JM, Kenyon J, Billingsley HE, Arena R, Lavie CJ, et al. Effects of replacing sedentary time with physical activity on mortality among patients with heart failure: National Health and Nutrition Examination Survey follow-up study. *Mayo Clin Proc* 2022;97:1897-903.
 47. Doukky R, Mangla A, Ibrahim Z, Poulin MF, Avery E, Collado FM, et al. Impact of physical inactivity on mortality in patients with heart failure. *Am J Cardiol* 2016;117:1135-43.
 48. Tonet E, Raisi A, Zagnoni S, Chiaranda G, Pasanisi G, Aschieri D, et al. Multidomain rehabilitation for older patients with myocardial infarction. *N Engl J Med* 2025;393:973-82.
 49. Cahalin LP, Mathier MA, Semigran MJ, Dec GW, DiSalvo TG. The six-minute walk test predicts peak oxygen uptake and survival in patients with advanced

- heart failure. *Chest* 1996;110:325-32.
50. Kim YH, Chung YO, Park EK, Lee HY, Song SI, Ko DH, et al. The six-minute walk test predicts peak oxygen uptake in patients with men and women coronary artery disease. *Korean J Sports Med* 2008;26:111-6.
 51. Ross RM, Murthy JN, Wollak ID, Jackson AS. The six minute walk test accurately estimates mean peak oxygen uptake. *BMC Pulm Med* 2010;10:31.
 52. Burr JF, Bredin SS, Faktor MD, Warburton DE. The 6-minute walk test as a predictor of objectively measured aerobic fitness in healthy working-aged adults. *Phys Sportsmed* 2011;39:133-9.
 53. Mandic S, Walker R, Stevens E, Nye ER, Body D, Barclay L, et al. Estimating exercise capacity from walking tests in elderly individuals with stable coronary artery disease. *Disabil Rehabil* 2013;35:1853-8.
 54. Sperandio EF, Arantes RL, Matheus AC, Silva RP, Lauria VT, Romiti M, et al. Intensity and physiological responses to the 6-minute walk test in middle-aged and older adults: a comparison with cardiopulmonary exercise testing. *Braz J Med Biol Res* 2015;48:349-53.
 55. Manttari A, Suni J, Sievanen H, Husu P, Vaha-Ypya H, Valkeinen H, et al. Six-minute walk test: a tool for predicting maximal aerobic power (VO_2 max) in healthy adults. *Clin Physiol Funct Imaging* 2018.
 56. Jalili M, Nazem F, Sazvar A, Ranjbar K. Prediction of maximal oxygen uptake by six-minute walk test and body mass index in healthy boys. *J Pediatr* 2018;200:155-9.
 57. Liu F, Tsang RCC, Jones AYM, Zhou M, Xue K, Chen M, et al. Cardiodynamic variables measured by impedance cardiography during a 6-minute walk test are reliable predictors of peak oxygen consumption in young healthy adults. *PLoS One* 2021;16:e0252219.
 58. Sagat P, Kalcik Z, Bartik P, Siska L, Stefan L. A simple equation to estimate maximal oxygen uptake in older adults using the 6 min walk test, sex, age and body mass index. *J Clin Med* 2023;12:4476.
 59. Singh SJ, Morgan MD, Hardman AE, Rowe C, Bardsley PA. Comparison of oxygen uptake during a conventional treadmill test and the shuttle walking test in chronic airflow limitation. *Eur Respir J* 1994;7:2016-20.
 60. Morales FJ, Martínez A, Méndez M, Agarrado A, Ortega F, Fernández-Guerra J, et al. A shuttle walk test for assessment of functional capacity in chronic heart failure. *Am Heart J* 1999;138:291-8.
 61. Lewis ME, Newall C, Townend JN, Hill SL, Bonser RS. Incremental shuttle walk test in the assessment of patients for heart transplantation. *Heart* 2001;86:183-7.
 62. Satake M, Shioya T, Takahashi H, Kawatani M. Ventilatory responses to six-minute walk test, incremental shuttle walking test, and cycle ergometer test in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Biomed Res* 2003;24:309-16.
 63. Turner SE, Eastwood PR, Cecins NM, Hillman DR, Jenkins SC. Physiologic responses to incremental and self-paced exercise in COPD: a comparison of three tests. *Chest* 2004;126:766-73.
 64. Fowler S, Singh S, Revill S. Reproducibility and validity of the incremental shuttle walking test in patients following coronary artery bypass surgery. *Physiother* 2005;91:22-7.
 65. Struthers R, Erasmus P, Holmes K, Warman P, Collingwood A, Sneyd JR. Assessing fitness for surgery: a comparison of questionnaire, incremental shuttle walk, and cardiopulmonary exercise testing in general surgical patients. *Br J Anaesth* 2008;101:774-80.
 66. Lima LP, Leite HR, Matos MA, Neves CDC, Lage V, Silva GPD, et al. Cardiorespiratory fitness assessment and prediction of peak oxygen consumption by Incremental Shuttle Walking Test in healthy women. *PLoS One* 2019;14:e0211327.
 67. Chae G, Ko EJ, Lee SW, Kim HJ, Kwak SG, Park D, et al. Stronger correlation of peak oxygen uptake with distance of incremental shuttle walk test than 6-min walk test in patients with COPD: a systematic review and meta-analysis. *BMC Pulm Med* 2022;22:102.