

심장재활에서 고강도 인터벌 훈련의 효과와 실전 적용

최 희 은

인제대학교 의과대학 해운대백병원 재활의학과

Efficacy and Practical Application of High-Intensity Interval Training in Cardiac Rehabilitation

Hee-Eun Choi, M.D.

Department of Rehabilitation Medicine, Inje University College of Medicine, Inje University Haeundae Paik Hospital, Busan 48108, Korea

Abstract

Cardiorespiratory fitness (CRF) has been shown to be inversely proportionate to cardiovascular mortality and morbidity. Consequently, exercise-based cardiac rehabilitation (CR) has been recommended as a treatment for patients with cardiovascular disease (CVD). Nevertheless, it remains controversial which exercise characteristics are most beneficial for patients with CVD. There is growing evidence that high-intensity interval training (HIIT) is superior to moderate-intensity continuous training (MICT) in improving CRF within the cardiac population. And HIIT appears to be as safe as MICT. However, there is no universal criteria or framework for the prescription and monitoring of HIIT in clinical populations. Providing personalized exercise programs according to the evidence-based recommendations for actual application of HIIT in patients with CVD, will help apply more effective and safe exercise training programs.

Key Words

Cardiac rehabilitation, High-intensity interval training, Exercise training, Cardiovascular disease

서론

유산소 건강은 심폐 건강의 공인된 지표이며 관상동맥 질환이 있는 대상자들과 없는 대상자들 모두에서 전체 사망률 및 심혈관 사망률에 대한 강력한 예측 인자이다

[1-3]. 최대산소섭취량(VO_{2max})의 직접 측정은 심폐 건강 (cardiorespiratory fitness, CRF)을 평가하는 최적기준(gold standard)으로 간주되어 왔으며, 2016년 미국심장협회에서는 최대산소섭취량을 임상적 활력 징후(vital sign)로 여겨야 한다고 발표했다[1,3]. 최대산소섭취량의 변화는 사망 위험의 변

화와 관련되어 있다[4]. 최대산소섭취량이 1 MET (metabolic equivalent, 3.5 ml/kg/min) 증가하면 전체 사망률이 15% 감소하는 것으로 알려져 있다[5]. 그러므로 심혈관질환의 재발과 이로 인한 사망을 감소시키기 위해서는 최대산소섭취량을 효과적으로 증가시킬 수 있도록 운동처방을 하는 것이 중요하다.

최대산소섭취량의 증가에 영향을 주는 인자로 운동 강도, 운동 횟수, 각 운동 세션당 시간, 운동 훈련 프로그램의 기간 그리고 운동 대상자의 초기 유산소 운동 능력 등이 있다. 이러한 인자들 중에 운동 강도가 최대산소섭취량을 증가시키는 주요인자로 제시되어져 왔으며, 이는 운동 강도를 최대산소섭취량의 100% 까지 증가시키는 운동 프로그램을 적용하였을 때, 다른 관련 인자들에 비해 최대산소섭취량의 더 큰 향상을 유도하였기 때문이다[6]. 즉, 최대산소섭취량은 각 운동 훈련 세션 중에 최대산소섭취량에 가깝게 운동한 시간에 의존하여 증가한다. 다시 말하자면, 심혈관질환자에서 최대산소섭취량을 효과적으로 향상시키기 위해서는 고강도 운동 훈련 프로그램이 고려되어야 한다[7,8].

심장재활의 기존 가이드라인에 따르면, 심혈관질환환자는 여유 심박수의 50-80% 사이의 중등도 강도 지속 훈련을 하도록 권고하고 있다. 그러나 건강한 성인 및 심혈관질환환자를 대상으로 한 체계적 문헌 고찰, 메타분석 연구 및 전향적 연구들을 살펴 보면 전체 에너지 소모량은 비슷한 운동 훈련 프

로그램이라도 고강도 인터벌 훈련이 중등도 지속 훈련에 비해 최대산소섭취량을 유의하게 더욱 증가시키는 것을 확인할 수 있다[9-13]. 이에 본 종설에서는 심장재활 영역에서 고강도 인터벌 훈련의 효과와 심혈관질환자에서 고강도 인터벌 훈련의 실제 적용방법에 대해 제시하고자 한다.

본 론

1) 고강도 인터벌 훈련의 정의

고강도 인터벌 훈련은 1973년 Fox에 의해 처음 정의되었으며 일정한 인터벌을 두고 고강도의 유산소운동과 수동적 또는 상대적으로 낮은 강도의 유산소운동을 번갈아 가며 시행하는 운동 훈련 방법이다(Fig. 1) [14]. 고강도 인터벌 훈련이 심장재활 영역에서는 2007년에 미국심장협회에서 처음 언급되었고, 2013년도 유럽 심혈관질환 예방재활협회와 미국 심장호흡재활협회, 캐나다 심장재활협회의 공동 입장 성명서(Joint Position Statement)에서 심장재활의 유산소운동 강도 평가 및 처방에 있어 중등도 강도 지속 훈련에 부가적으로 활용할 수 있는 적절하고 효과 있는 운동 방법으로 인식되기 시작했다[15].

고강도 인터벌 훈련은 스포츠 영역에서 자주 사용되어 왔

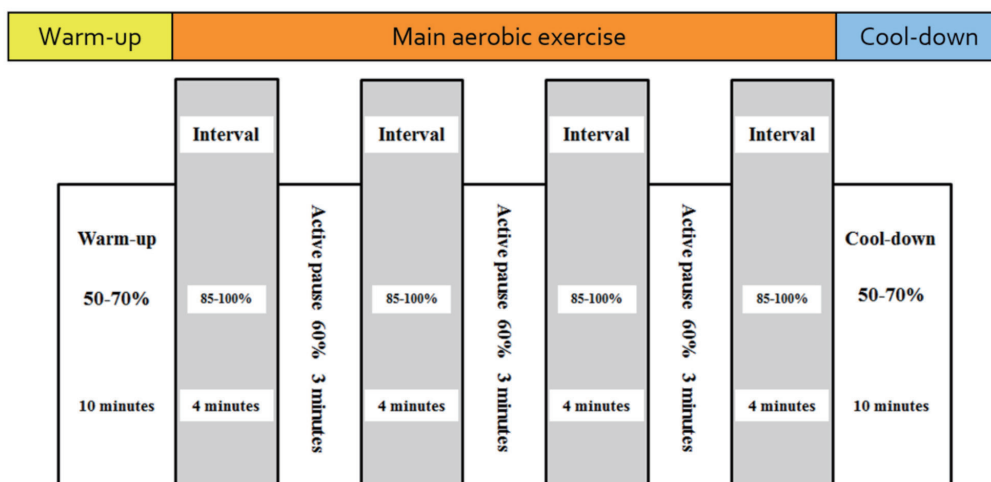


Fig. 1. The diagram of high-intensity interval training.

Table 1. Three Categories of Interval Training

Three different categories of HIIT
Long intervals: 3 to 15 min at 85% to 90% VO_{2peak}
Medium intervals: 1 to 3 min at 95% to 100% VO_{2peak}
Short intervals: 10 sec to 1 min at 100% to 120% VO_{2peak}

HIIT: High-Intensity interval training

다. 심폐 및 근육 시스템에 대한 고강도 인터벌 훈련의 효과는 과학자들이 심혈관 질환 영역에 이 운동 방법을 적용하는 것에 대해 고려하게 했다. 스포츠 영역에서는 인터벌 훈련에 의해 유도되는 생리학적 반응이 서로 다른 것에 근거하여 다음과 같이 3가지 카테고리 - long intervals [3-15분, 최대산소섭취량(VO_{2max})의 85-90% 운동 강도], medium intervals [1-3분, 최대산소섭취량(VO_{2max})의 95-100% 운동 강도], short intervals [3-15분, 최대산소섭취량(VO_{2max})의 100-120% 운동 강도] - 로 분류한다(Table 1) [16].

심장재활 영역에서는 임상 대상자들의 심폐 건강(CRF)을 향상시킨 대부분의 근거가 노르웨이 연구 그룹에서 개발한 높은 볼륨(high volume)의 4회 × 4분 고강도 인터벌 훈련 프로토콜을 사용해왔다[9,17]. 높은 볼륨의 고강도 인터벌 훈련 프로토콜은 고강도 인터벌을 15분 이상의 시간을 누적하여 시행한 프로토콜로 정의되었으며, 다른 모든 고강도 인터벌 훈련 프로토콜은 낮은 볼륨(low volume) 고강도 인터벌 훈련으로 정의되었다[18]. 긴 시간 인터벌(예, 1 × 4분)을 가진 낮은 볼륨 고강도 인터벌 훈련 프로토콜은 높은 볼륨 고강도 인터벌 훈련과 비슷하게 심폐 건강(CRF)이 향상되었으며 중등도 지속 훈련에 비해 더 우수한 결과를 보였다[19,20]. 반대로 여러 짧은 시간 인터벌(예, 10 × 1분)을 가진 낮은 볼륨 고강도 인터벌 훈련은 심폐 건강 개선에 있어 중등도 지속 훈련과 비슷한 결과를 보였지만 더 높은 향상을 보이지 않았다[21-23].

2) 심장재활 가이드라인에서 고강도 인터벌 훈련

국내 심장재활 임상진료지침에서는 '심장재활 운동에는 유산소운동 프로그램이 포함되어야 한다(권고 강도: S 강하게, 근거 수준: 1+)', '보다 높은 유산소운동 효과를 얻으려면 고강도 인터벌 훈련을 고려한다(권고 강도: C 조건부 권고, 근거

수준: 1+)'고 권고하고 있다[10].

미국 심장호흡재활협회 가이드라인 6판에서는 심장재활 참여자들에 있어 고강도 인터벌 훈련은 최고산소섭취량을 향상시키는 데 있어 중등도 지속 훈련에 비해 우월하며 중등도 지속 훈련만큼 안전하다고 제시하고 있다[9].

3) 고강도 인터벌 훈련의 효과

(1) 최고산소섭취량

현재까지 보고된 많은 메타분석 연구들에서 고강도 인터벌 훈련이 심혈관질환자들에서 대조군들에 비해 최고산소섭취량을 유의하게 향상시키는 것을 보고했다[9,10,24]. 2022년 유럽심장학회에서 출간된 메타분석 연구에서 고강도 인터벌 훈련 대 중등도 지속 훈련과 고강도 인터벌 훈련 대 일상적인 신체활동 그룹을 하위그룹 분석(subgroup analysis)한 결과 고강도 인터벌 훈련군이 중등도 지속 훈련군에 비해 최고산소섭취량의 유의한 향상(MD = 3.73 mL/kg/min, 95% CI 3.06-4.40, $p < 0.01$)을 보였다. 그리고 일상적인 신체 활동 그룹에 비해서도 고강도 인터벌 훈련군이 최고산소섭취량을 향상시키는 데 있어 유의한 큰 효과를 나타냈다(MD = 4.13 mL/kg/min, 95% CI 2.99-5.26, $p < 0.01$) [24].

Nilsson 등[25]은 12주간 심장재활 프로그램을 적용한 연구에서 고강도 인터벌 훈련군의 최고산소섭취량이 심장재활 시작 이후 15개월이 경과한 시점에도 향상되어 있음을 보여 주었다. Taylor 등[26]의 연구에서도 고강도 인터벌 훈련은 중등도 지속 훈련에 비해 1년 추적 관찰 시에도 최고산소섭취량의 유의한 향상이 있음을 발견했다. 메타분석 연구들에서도 심혈관질환자들의 고강도 인터벌 훈련이 중등도 지속 훈련에 비해 최고산소섭취량을 향상시키는 데 있어 우월함을 보여 주었다[9,10,24].

(2) 혈압

2022년 유럽심장학회에서 출간된 메타분석 연구에서 수축기 혈압과 이완기 혈압을 포함하는 혈압은 총 144명을 대상으로 3개의 연구들에서 측정되었다[27-29]. 메타분석 결과 수축기 혈압과 이완기 혈압은 고강도 인터벌 훈련이 중등도 지속 훈련에 비해 큰 영향을 미치지 못했다. Molmen-Hansen 등[30]은 운동 강도에 의존적이긴 하지만 고강도 인터벌 훈련의 혈압을 낮추는 효과를 발견했다. 그러나 고강도 인터벌 훈련이 중등도 지속 훈련군에 비해 혈압에 미치는 영향이 차이 없

다는 다른 견해가 있다[31]. 상기 메타분석 연구에서도 단 3개의 연구만이 혈압에 대한 영향을 평가하고 있었으며 연구 간 이질성이 있어 고강도 인터벌 훈련이 중등도 지속 훈련에 비해 혈압에 더 큰 효과를 미치는가에 대해서는 여전히 불확실하다.

(3) 심박수

심박수는 자율신경 활동의 지표이며 심혈관질환자들에게 중요한 사망 예측 인자로 여겨져 왔다[32]. 안정 시 심박수를 낮추는 것은 관상동맥질환자 또는 심부전 환자에서 심혈관 위험을 낮출 수 있다[33]. Guiraud 등[34]은 고강도 인터벌 훈련이 심박수와 부정맥 발생을 유의하게 낮출 수 있음을 발견했다. 그러나 메타분석 연구에서는 고강도 인터벌 훈련이 대조군에 비해 최고 심박수와 안정 시 심박수에 있어 유의한 영향이 없음을 보여주었다[24]. 고강도 인터벌 훈련이 심박수에 미치는 영향을 확인하기 위해서는 향후 대규모 전향적 연구가 필요하다.

(4) 좌심실 기능과 재형성(Left ventricular function and remodeling)

Ghardashi 등[35]은 고강도 인터벌 훈련이 쥐의 괴사된 심근의 영역을 줄이고 심장 기능을 향상시킨다고 제시하였다. 그러나 심장질환자에서 좌심실 기능과 재형성에 대한 고강도 인터벌 훈련의 효과는 현재까지 보고된 연구들에 있어 긍정적이지 않은 경향이 있다[36]. 메타분석 연구에서도 심근경색 이후 환자들의 좌심실 구축률과 좌심실 이완기말 용적에 있어 고강도 인터벌 훈련군과 중등도 지속 훈련군에서 유의한 차이가 없었다. 이는 연구들 간의 상당한 이질성과 분석 가능한 연구들의 수가 제한적이며, 결과를 해석하는 데 주의가 필요하다.

(5) 삶의 질

삶의 질을 향상시키는 것은 심장재활의 또 다른 주요 목표이다. 운동은 더 나은 삶의 질을 가져다주며, 이는 생리학적 개선과 병행된다[12,27]. 메타분석들에 포함된 연구들의 삶의 질에 대한 평가 방법은 다양했다. 최근 발표된 메타분석 연구에서는 고강도 인터벌 훈련이 중등도 지속 훈련에 비해 삶의 질의 유의한 개선이 나타나지 않았다[24]. 그럼에도 불구하고 삶의 질에 대한 통일된 평가 방법이 부족하여 여전히 유효한 결론을 내리기는 어렵다.

4) 심장재활 영역에서 고강도 인터벌 훈련의 실전 적용

임상 대상자들에서 고강도 인터벌 훈련을 적용하는 보편적인 기준이나 구성 체계/framework)는 없다. 심폐 건강을 극대화하기 위한 고강도 인터벌 훈련의 최적의 운동량이 어느 정도인지 여전히 불명확하다.

고강도 인터벌 훈련의 주요 원칙은 환자가 지속적으로 수행하는 운동 강도보다 더 높은 강도에서 더 많은 시간을 운동할 수 있도록 짧은 고강도 운동 [예, 85% 이상의 VO_{2peak} 또는 peak power output (PPO)] 사이에 낮은 강도의 운동 또는 수동적인 휴식 시간을 넣어 번갈아 수행하는 것이다. 관상동맥질환자 등에서 고강도 인터벌 훈련은 전통적인 지속 운동 훈련에 대한 시간 효율적인 대체재 또는 대안으로 간주되고 있다.

Ribeiro 등[37]은 short interval 고강도 인터벌 훈련은 유산소운동 능력이 낮은 관상동맥질환자들에게 유익이 있어 운동을 시작하거나 운동 능력을 증진시키는 시기에 적용하는 것이 이상적이라고 제시하고 있다. Medium 또는 long interval 고강도 인터벌 훈련은 더 높은 유산소운동 능력을 가지고 있는 관상동맥질환자들에게 적용 시 효과적일 수 있다. 높은 생리학적 자극을 유도하므로 운동 능력을 증진시키거나 유지시키기 위한 시기에 이상적으로 적용할 수 있다. 본 연구에서는 참고문헌들을 기반으로 환자의 운동 능력 상태와 심장재활 프로그램의 단계에 따라 고강도 인터벌 훈련의 점진적인 개별화된 모델을 제시하고 있다. 5 METs 미만의 낮은 운동 능력을 가진 환자들의 경우, 시작 단계(0-4주)에서는 지속 운동 훈련을 시행하고 고강도 인터벌 훈련은 권고하지 않는다. 증진 단계(4-12주)에서는 지속 운동 훈련과 short interval 고강도 인터벌 훈련을 병행하도록 한다. 유지기 단계(12주 이후)에서는 지속 운동 훈련과 short interval과 medium interval의 고강도 인터벌 훈련을 병행한다. 5 METs 이상의 운동 능력을 가지고 있는 환자들에서는 시작 단계(0-4주)에서 지속 운동 훈련과 short interval 고강도 인터벌 훈련을 병행하며 증진 단계(4-12주)에서는 지속 운동 훈련과 short interval과 medium interval의 고강도 인터벌 훈련을 병행한다. 유지기 단계(12주 이후)에서는 지속 운동 훈련과 medium interval과 long interval의 고강도 인터벌 훈련을 병행한다(Table 2) [37].

Ballesta Garcia 등[38]은 메타분석 연구에서 관상동맥질환자들에 비해 심부전 환자들에서 고강도 인터벌 훈련이 최고 산소섭취량을 더 효과적으로 향상시킨다고 보고하였다. 그리고 관상동맥질환과 심부전 환자에서 각각 고강도 인터벌 훈

Table 2. Progression Models for Aerobic Exercise Training - High-Intensity Interval Training (HIIT) [37]

Patient profile	Stage of training	Prescription (weekly)	MICT	HIIT
Low functional status (< 5 METs)	Initiation (week 0-4)	2-3 × MICT	50-70% PPO (RPE: 11-15)	Not recommended
	Improvement (week 4-12)	2 × MICT and 1 × HIIT (SI)	50-70% PPO (RPE: 11-15)	HIIT-SI: 15 s to 1 min at 70-100% PPO (RPE: 15-18)
	Maintenance (week > 12)	2 × MICT and 1 × HIIT (SI + MI)	50-70% PPO (RPE: 11-15)	HIIT-MI: 1-3 min at 90-110% PPO (RPE > 15) HIIT-SI: 15 s to 1 min at 100-120% PPO (RPE: 15-18)
Normal and high functional status (≥ 5 METs)	Initiation (week 0-4)	2 × MICT and 1 × HIIT (SI)	50-70% PPO (RPE: 11-15)	HIIT-SI: 15 s to 1 min at 80-100% PPO (RPE: 15-18)
	Improvement (week 4-12)	1 × MICT and 2 × HIIT (SI + MI)	50-70% PPO (RPE: 11-15)	HIIT-MI: 1-3 min at 95-100% VO _{2peak} (RPE > 15) HIIT-SI: 10 sec to 1 min at 100-120% VO _{2peak} (RPE: 15-18)
	Maintenance (week > 12)	3 × MICT or HIIT (MI + LI)	50-70% PPO (RPE: 14-16)	HIIT-MI: 1-3 min at 95-100% VO _{2peak} (RPE > 15) HIIT-LI: 3-4 min at 80-85% VO _{2peak} (RPE > 15)

HRR: heart rate reserve, PPO: peak power output, RPE: rate of perceived exertion, METs: metabolic equivalents, MICT: moderate intensity continuous training, SI: short intervals; MI: medium intervals, LI: long intervals

Table 3. Recommendations on HIIT Protocol for Heart Failure (HF) and Coronary Artery Disease (CAD) Patients [38]

Disease	Frequency, d/wk	Duration program, wks	Session duration, min	Intensity of recovery, peak VO ₂ , %	Ratio, work/recovery
HF	≥ 3 (2-5)	≥ 6 (6-24)	30-60 (28-60)	≥ 40% (40-70%)	≥ 1.33 (0.66-1.33)
CAD	≥ 2 (2-5)	≥ 6 (4-52)	30-60 (28-60)	≥ 40% (0-70%)	≥ 1 (0.5-1.33)

CAD: coronary artery disease, HF: heart failure, HIIT: high-intensity interval training, peak VO₂: peak oxygen uptake

련 프로토콜을 제시하고 있다. 관상동맥질환자들의 경우 주 2회 이상, 6주 이상의 프로그램 기간, 운동 세션당 30-60분간, 회복기 운동 강도를 최고산소섭취량의 40% 이상, 고강도 인터벌 구간과 회복기 구간의 비율을 1 이상으로 하는 것을 권고하였다. 심부전 환자의 경우에는 주 3회 이상, 6주 이상의 프로그램 기간, 운동 세션당 30-60분간, 회복기 운동 강도를 최고산소섭취량의 40% 이상, 고강도 인터벌 구간과 회복기

구간의 비율을 1.33 이상으로 하는 것을 권고하였다(Table 3).

5) 고강도 인터벌 훈련의 안전성

심혈관 질환이 있는 환자들에서 고강도 운동을 할 때 잠재적인 위험이 있다. 그러나 현재 대부분의 임상적 근거들은 고강도 인터벌 훈련이 심장 사고의 위험이 낮고 심장재활 시 고

강도 인터벌 훈련을 하는 것이 안전하다는 의견을 유지하고 있다[25,36]. 메타분석 연구들의 고강도 인터벌 훈련군에서 심혈관 사고와 스포츠 관련 손상의 빈도가 중등도 지속 훈련군에 비해 유의한 차이를 보이지 않았다[24,36].

결론

아직 심장질환자에서 고강도 인터벌 훈련 프로토콜에 대한 통일된 합의안이나 가이드라인은 없는 실정이다. 그러나 현재까지 지속적으로 출간된, 심장재활 영역에서 고강도 인터벌 훈련에 관한 메타분석과 체계적 고찰 연구들에서 고강도 인터벌 훈련은 중등도 지속 훈련과 다른 운동 처방들에 비해 최고산소섭취량을 향상시키는 데 우월하다는 결과를 얻었으며 안전성을 입증하였다. 고강도 인터벌 훈련은 심장재활 영역에 있어 효과적인 운동 훈련 방법으로 고려되고 적용되어야 한다. 본 종설을 포함한 여러 연구들에서 제시하고 있는 심장질환자에서 고강도 인터벌 훈련의 실제 적용 권고 사항들에 따라 개인별 맞춤 운동 프로그램을 제공한다면, 심장질환자들에게 보다 효과적이고 안전한 운동 훈련 프로그램을 적용하는 데 도움이 될 것이다.

REFERENCES

1. 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.
2. Laukkanen JA, Makikallio TH, Rauramaa R, Kiviniemi V, Ronkainen K, Kurl S. Cardiorespiratory fitness is related to the risk of sudden cardiac death: a population-based follow-up study. *J Am Coll Cardiol* 2010;56:1476-83.
3. Ross R, Blair SN, Arena R, Church TS, Despres JP, Franklin BA, et al. Importance of assessing cardiorespiratory fitness in clinical practice: A case for fitness as a clinical vital sign: A scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2016;134:e653-99.
4. Harber MP, Kaminsky LA, Arena R, Blair SN, Franklin BA, Myers J, et al. Impact of cardiorespiratory fitness on all-cause and disease-specific mortality: Advances since 2009. *Prog Cardiovasc Dis* 2017;60:11-20.
5. Keteyian SJ, Brawner CA, Savage PD, Ehrman JK, Schairer J, Divine G, et al. Peak aerobic capacity predicts prognosis in patients with coronary heart disease. *Am Heart J* 2008;156:292-300.
6. Wenger HA, Bell GJ. The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Med* 1986;3:346-56.
7. Dupont G, Blondel N, Berthoin S. Time spent at VO_{2max} : a methodological issue. *Int J Sports Med* 2003;24:291-7.
8. Guiraud T, Juneau M, Nigam A, Gayda M, Meyer P, Mekary S, et al. Optimization of high intensity interval exercise in coronary heart disease. *Eur J Appl Physiol* 2010;108:733-40.
9. Hannan AL, Hing W, Simas V, Climstein M, Coombes JS, Jayasinghe R, et al. High-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training within cardiac rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *Open Access J Sports Med* 2018;9:1-17.
10. Liou K, Ho S, Fildes J, Ooi SY. High intensity interval versus moderate intensity continuous training in patients with coronary artery disease: A meta-analysis of physiological and clinical parameters. *Heart Lung Circ* 2016;25:166-74.
11. Rognmo O, Hetland E, Helgerud J, Hoff J, Slordahl SA. High intensity aerobic interval exercise is superior to moderate intensity exercise for increasing aerobic capacity in patients with coronary artery disease. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2004;11:216-22.
12. Wisloff U, Stoylen A, Loennechen JP, Bruvold M, Rognmo O, Haram PM, et al. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation* 2007;115:3086-94.
13. Kim C, Choi HE, Lim MH. Effect of high interval training in acute myocardial infarction patients with drug-eluting stent. *Am J Phys Med Rehabil* 2015;94(10

- Suppl 1):879-86.
14. Fox EL, Bartels RL, Billings CE, Mathews DK, Bason R, Webb WM. Intensity and distance of interval training programs and changes in aerobic power. *Med Sci Sports* 1973;5:18-22.
 15. Mezzani A, Hamm LF, Jones AM, McBride PE, Moholdt T, Stone JA, et al. Aerobic exercise intensity assessment and prescription in cardiac rehabilitation: a joint position statement of the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation, the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation and the Canadian Association of Cardiac Rehabilitation. *Eur J Prev Cardiol* 2013;20:442-67.
 16. Guiraud T, Nigam A, Gremeaux V, Meyer P, Juneau M, Bosquet L. High-intensity interval training in cardiac rehabilitation. *Sports Med* 2012;42:587-605.
 17. Rognmo O, Moholdt T, Bakken H, Hole T, Molstad P, Myhr NE, et al. Cardiovascular risk of high- versus moderate-intensity aerobic exercise in coronary heart disease patients. *Circulation* 2012;126:1436-40.
 18. Williams CJ, Gurd BJ, Bonafiglia JT, Voisin S, Li Z, Harvey N, et al. A multi-center comparison of O₂peak trainability between interval training and moderate intensity continuous training. *Front Physiol* 2019;10:19.
 19. Ramos JS, Dalleck LC, Ramos MV, Borrani F, Roberts L, Gomersall S, et al. 12 min/week of high-intensity interval training reduces aortic reservoir pressure in individuals with metabolic syndrome: A randomized trial. *J Hypertens* 2016;34:1977-87.
 20. Tjonna AE, Leinan IM, Bartnes AT, Jenssen BM, Gibala MJ, Winett RA, et al. Low- and high-volume of intensive endurance training significantly improves maximal oxygen uptake after 10-weeks of training in healthy men. *PLoS One* 2013;8:e65382.
 21. Baekkerud FH, Solberg F, Leinan IM, Wisloff U, Karlsen T, Rognmo O. Comparison of three popular exercise modalities on VO_{2max} in overweight and obese. *Med Sci Sports Exerc* 2016;48:491-8.
 22. Gillen JB, Martin BJ, MacInnis MJ, Skelly LE, Tarnopolsky MA, Gibala MJ. Twelve weeks of sprint interval training improves indices of cardiometabolic health similar to traditional endurance training despite a five-fold lower exercise volume and time commitment. *PLoS One* 2016;11:e0154075.
 23. Martins C, Kazakova I, Ludviksen M, Mehus I, Wisloff U, Kulseng B, et al. High-intensity interval training and isocaloric moderate-intensity continuous training result in similar improvements in body composition and fitness in obese individuals. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2016;26:197-204.
 24. Qin Y, Kumar Bundhun P, Yuan ZL, Chen MH. The effect of high-intensity interval training on exercise capacity in post-myocardial infarction patients: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Prev Cardiol* 2022;29:475-84.
 25. Nilsson BB, Lunde P, Groggaard HK, Holm I. Long-term results of high-intensity exercise-based cardiac rehabilitation in revascularized patients for symptomatic coronary artery disease. *Am J Cardiol* 2018;121:21-6.
 26. Taylor JL, Holland DJ, Keating SE, Leveritt MD, Gomersall SR, Rowlands AV, et al. Short-term and long-term feasibility, safety, and efficacy of high-intensity interval training in cardiac rehabilitation: The FITR Heart Study randomized clinical trial. *JAMA Cardiol* 2020;5:1382-9.
 27. Dun Y, Thomas RJ, Smith JR, Medina-Inojosa JR, Squires RW, Bonikowske AR, et al. High-intensity interval training improves metabolic syndrome and body composition in outpatient cardiac rehabilitation patients with myocardial infarction. *Cardiovasc Diabetol* 2019;18:104.
 28. Eser P, Jaeger E, Marcin T, Herzig D, Trachsel LD, Wilhelm M. Acute and chronic effects of high-intensity interval and moderate-intensity continuous exercise on heart rate and its variability after recent myocardial infarction: A randomized controlled trial. *Ann Phys Rehabil Med* 2022;65:101444.
 29. Trachsel LD, David LP, Gayda M, Henri C, Hayami D, Thorin-Trescases N, et al. The impact of high-intensity interval training on ventricular remodeling in patients

- with a recent acute myocardial infarction-A randomized training intervention pilot study. *Clin Cardiol* 2019;42:1222-31.
30. Molmen-Hansen HE, Stolen T, Tjonna AE, Aamot IL, Ekeberg IS, Tyldum GA, et al. Aerobic interval training reduces blood pressure and improves myocardial function in hypertensive patients. *Eur J Prev Cardiol* 2012;19:151-60.
 31. Zhang S, Zhang J, Liang C, Li X, Meng X. High-intensity interval training for heart failure with preserved ejection fraction: A protocol for systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore)* 2020;99:e21062.
 32. Kapoor JR, Heidenreich PA. Heart rate predicts mortality in patients with heart failure and preserved systolic function. *J Card Fail* 2010;16:806-11.
 33. Menown IB, Davies S, Gupta S, Kalra PR, Lang CC, Morley C, et al. Resting heart rate and outcomes in patients with cardiovascular disease: where do we currently stand? *Cardiovasc Ther* 2013;31:215-23.
 34. Guiraud T, Labrunee M, Gaucher-Cazalis K, Despas F, Meyer P, Bosquet L, et al. High-intensity interval exercise improves vagal tone and decreases arrhythmias in chronic heart failure. *Med Sci Sports Exerc* 2013;45:1861-7.
 35. Ghardashi Afousi A, Gaeini A, Rakhshan K, Naderi N, Darbandi Azar A, Aboutaleb N. Targeting necroptotic cell death pathway by high-intensity interval training (HIIT) decreases development of post-ischemic adverse remodelling after myocardial ischemia / reperfusion injury. *J Cell Commun Signal* 2019;13:255-67.
 36. Araujo BTS, Leite JC, Fuzari HKB, Pereira de Souza RJ, Remigio MI, Dornelas de Andrade A, et al. Influence of high-intensity interval training versus continuous training on functional capacity in individuals with heart failure: A systematic review and meta-analysis. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 2019;39:293-8.
 37. Ribeiro PAB, Boidin M, Juneau M, Nigam A, Gayda M. High-intensity interval training in patients with coronary heart disease: Prescription models and perspectives. *Ann Phys Rehabil Med* 2017;60:50-7.
 38. Ballesta Garcia I, Rubio Arias JA, Ramos Campo DJ, Martinez Gonzalez-Moro I, Carrasco Poyatos M. High-intensity interval training dosage for heart failure and coronary artery disease cardiac rehabilitation. A systematic review and meta-analysis. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)* 2019;72:233-43.