

만성 심부전 환자의 심장이식 수술 전 하지 근력 및 리컴벤트 사이클링 운동 프로그램의 효과

대한심장호흡물리치료학회지 제5권 제1호, 2017, PP.15-20

■ 류호열¹, 오재원¹, 윤도은¹, 김지수¹, 김수경², 강석민¹

■ ¹연세의료원 심장혈관병원 심장웰니스센터, ²나노바이오라이프

The Effects of Lower Extremity Strengthening Exercise and Recumbent Cycling Exercise Program in Patient with Chronic Heart Failure Prior to Heart Transplantation

Ho-Youl Ryu PT, MSc¹, Jaewon-Oh MD, PhD¹, Do-Eun Yun PT¹, Ji-Soo Kim PT, MSc¹,
Soo-Kyung Kim PT, PhD², Seok-Min Kang MD, PhD¹

¹Cardiac wellness center, Severance Cardiovascular Hospital, Yonsei University Health System, Seoul, Korea.

²Nanobiolife Inc.

Purpose : Muscle weakness, especially leg muscle is the key characteristic that can be found in heart failure(HF) patients who are waiting for heart transplantation(HT) for a long time. Exercise training before HT is important to reverse muscular de-conditioning that place HT recipients at increased cardiovascular risk. The purpose of this study is to investigate the effect of lower extremity strengthening and recumbent cycle aerobic exercise program on muscular fitness in HF patients prior to HT. **Methods** : Each subject completed at least 24 sessions of lower extremity strengthening exercise(leg press 20 min / 1 session) and recumbent cycle aerobic exercise (20 min / 1 session) at Severance cardiac wellness center who was hospitalized waiting for HT. Knee extensor maximal voluntary isometric strength (MVIC), mean muscle power (MMP) and 6 minutes walking distance (6 MWD) were recorded at baseline (D1), and at the end of 24 training sessions (D2), and at discharge date after HT (D3). **Results** : The study population consisted of 8 HF patients (7 male, 35±19 years old, mean EF=18.3±6.4%). All subjects completed at least 24 training session with no adverse events. The MVIC (403.9±73.9 vs. 478±76.9 N, p=0.001), MMP (155.5±57 vs. 186.7±65 watt, p=0.003), and 6 MWD (441.6±64.9 vs. 520.3±53.9 m, p=0.002) measured at D2 were significantly increased compared with baseline, respectively. However, the MVIC (478±76.9 vs. 398±97.4 N, p=0.032) and MMP (186.7±65 vs. 145.5±77.6 watt, p=0.015) measured at D3 were significantly decreased compared with D2, whereas 6 MWD (520.3±53.9 vs. 520.7±35.4 m, p=0.708) were not different significantly. MVIC and MMP showed not significant differences compared D1 with D3, but 6 MWD (441.6±64.9 vs. 520.7±35.4 m, p=0.011) was improved significantly. **Conclusion** : Our study showed that lower extremity muscle strengthening and aerobic recumbent cycling exercise program prior to HT can improve HF patient's muscular fitness and 6 MWD.

Key words : Heart failure, Heart transplantation, Recumbent cycle, 6 minute walking, Muscle strength

Received : October 30, 2017 / **Revised** : November 10, 2017 / **Accepted** : December 7, 2017

I. 서론

1. 연구의 필요성

현대의학의 발달에도 불구하고 심부전(heart failure, HF)은 입원율과 사망률이 높은 질환이다(Yancy 등, 2013). 호흡곤란, 근력과 근지구력의 약화로 인한 운동 능력 저하는 일상생활 활

동량을 감소시키게 되고 이로 인한 불용성 근 위축(muscle atrophy), 삶의 질 저하를 비롯해 다양한 원인에 의한 재입원율 또한 높아진다(Cesari 등, 2006; Miller 등, 2009). HF 환자에 대한 의학적 치료가 한계에 이르게 될 경우 의료진과 환자의 최종적인 선택은 심장이식 수술이다. 현재 우리나라의 실정을 살펴보면, 심장이식 수술을 받기 위해서는 약 1~3개월 이

교신저자: 강석민

주소: 120-752 서울특별시 서대문구 연세로 50-1 연세의료원건물 심장혈관병원, 전화: 02-2228-8540, E-mail: smkang@yuhs.ac

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 경제협력권산업 육성사업으로 수행된 연구결과입니다.

상 입원하여 기증자가 생길 때까지 대기해야하는 현실에 있다. 이 입원 기간 동안 HF 환자는 더욱 활동량이 감소하게 되어 하지의 근력 감소는 물론 전신적인 쇠약 상태에 빠질 수 있다. 성공적인 이식 수술 후에도 일상적 보행능력이나 근육 기능이 회복되는 데는 상당한 시간이 필요한 것은 예측 가능한 현실이다. 이에 본 연구는 심장이식 수술을 받기 위해 입원한 HF 환자의 심장이식 대기 중 하지 근력 및 리컴벤트 사이클링(recumbent cycling) 운동치료 프로그램의 효과에 대하여 연구하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 심장이식 수술을 받기 위해 세브란스 심장혈관병원에 입원한 HF 환자 8명을 대상으로 하였다. 환자에게 연구의 목적과 운동 프로그램 구성, 기대 효과 등에 대한 설명과 동의를 구한 후 참여에 동의한 환자에 한하여 연구를 진행하였다. 본 연구의 대상자의 일반적 특성은 표 1과 같다.

2. 연구 방법

HF 환자의 운동 프로그램 참여 전, 훈련 후, 그리고 심장이식 수술 후 퇴원 당시의 신체활동 능력을 측정하기 위해 6분 보행 검사(6 minutes walking test, 6 MWT)를 실시하였다(그림 1).

6 MWT 후 최소 5분 이상의 휴식을 취한 후 근육 기능을 측정하기 위해 우측 하지 신전근의 등척성 최대 근력(maximal voluntary isometric contraction, MVIC)을 측정하였다(그림 2).

MVIC 측정은 BTE(Baltimore therapeutic equipment, USA)를 이용하였다. MVIC 측정을 위해 대상자들의 무릎 관절을 45도 굴곡 각도로 고정한 후 검사자의 구령에 의해 최대의 노력으로 하지를 신전하도록 하였다. MVIC는 3회 측정하

였으며 측정된 평균 값(N)을 통계 분석을 위한 데이터로 이용하였다. 각각의 MVIC 측정 사이의 휴식 시간은 최대 근력 발현에 영향을 미치지 않는 최소의 휴식 시간인 1분으로 하였다(Allen DG, 2004). MVIC 측정이 끝난 후 최소 5분 이상의 휴식을 취한 후 무릎 관절 신전근의 평균 근 파워(mean muscle power, MMP)를 측정하였다. MMP 측정을 위한 저항 설정은 대상자 체중의 20%로 적용하였으며 총 10회 측정된 파워(watt) 중 가장 높은 5회의 평균값을 데이터로 이용하였다.

훈련 전 검사를 마친 대상자들은 24회(회당 40분, 주 5일, 5주)의 운동 프로그램을 마친 후 6 MWT와 MVIC, MMP를 재측정 하였다. 또한 심장이식 수술 후 중환자실과 격리병실 회복기를 지난 후 퇴원 당일 반복 측정하여 시차에 따른 훈련 효과를 비교·분석하였다.

3. 운동 프로그램

HF 환자를 위한 운동 프로그램은 리컴벤트사이클링 유산소 운동 및 레그 프레스(leg press) 근력 운동으로 구성하였다(그림 3, 그림 4).



그림 1. 6분 보행 검사



그림 2. 하지 신전근 등척성 최대근력 검사

표 1. 연구대상자의 일반적 특성

	exercise group (n=8)
age (years)	35±19
male (%)	7 (85.7%)
BMI (kg/m ²)	20.12±3
HR (bpm)	82±14
SBP (mmHg)	106±13
LVEF (%)	18.3±6.4

BMI: body mass index, HR: heart rate, SBP: systolic blood pressure, LVEF: left ventricular ejection fraction, Mean±SD



그림 3. 리컴버트 사이클링 유산소 운동



그림 4. 레그 프레스(leg press) 근력 운동훈련

상체를 뒤로 비스듬히 눕힌 자세로 페달링 하는 리컴버트 사이클링은 기존 사이클의 원 운동 방식에 비해 다리를 뻗는 근육을 주로 이용하게 되어 앉았다 일어서거나 계단 오르기 등 일상생활 동작과 비슷하여 기능적 재활 운동 효과가 높으며 (Kerr 등, 2007), 직립 사이클 자세에 비해 1회 박출량(stroke volume)이 높고, 심박수는 낮은 특성이 있다(Egana 등, 2010). 또한 최대하 및 최대 운동 중 심근 산소 소비량이 직립 사이클에 비해 유의하게 감소하는 특성이 있어 심부전 환자를 위한 운동 방식으로 추천되었다(유호열 등, 2014).

운동 처방을 위해 사이클 에르고미터에서 점증 부하 검사를 실시하였다. 10watt 부하에서 운동 검사를 시작하여 매 1분마다 10watt씩 부하를 증가시켜 대상자가 60rpm의 속도를 5초 이상 유지하지 못하고 중단하는 부하를 최대 부하(peak work rate, WR peak)로 설정하였으며 40% WR peak로 훈련하였다.

근력운동을 위해 이용한 레그 프레스는 고 관절, 무릎 관절, 족 관절 주변의 다양한 근육그룹을 동시에 수축하는 다 관절(multi joint), 다 근육(multi muscle) 운동으로 단일 관절, 단일 근육 운동에 비해 지연성 근육통 및 부상의 위험이 상대적

으로 적은 특성이 있다(Song 등, 2009). 운동 처방을 위해 레그 프레스에서 one repetition maximum(1RM)을 측정한 후 50% 1RM 강도 훈련을 실시로 하였다. 50% 1RM 강도의 레그 프레스 운동은 50% VO₂ peak 사이클링 에르고미터 운동에 비해 심박수, 수축기 혈압 등이 비슷하거나 낮아 안전하다는 선행 연구(Fowler 등, 2012)를 참고하였다.

4. 통계 방법

본 연구의 측정 자료는 SPSS ver. 23 프로그램을 이용하였다. 대상자들의 일반적 특성을 알아보기 위해 기술 통계를 이용하였다. 운동 프로그램 참여 전과 후, 그리고 퇴원 당일의 6분 보행 거리(6 minutes walking distance, 6 MWD), MVIC, MMP 등의 데이터는 대응 표본 t-검정을 실시하였다. 통계학적 유의수준 α 는 .05로 하였다.

Ⅲ. 연구결과

본 연구에 참여한 8명의 HF 환자는 입원 후 심장이식 수술을 받기 까지 평균 약 93±55일의 입원 대기 기간을 거쳤다. 또한 수술 후 퇴원 당일까지의 침상 안정 기간은 평균 약 23±5일이었다. 이 대상자들의 운동 프로그램 참여 전과 후, 퇴원 당일 측정된 연구 결과는 표 2와 같다.

1. 6분 보행 거리

대상자들의 훈련 전 6 MWD는 441.6±64.9 m에서 24회의 리컴버트 사이클 유산소 운동과 레그 프레스 근력 운동 훈련 후 520.3±53.9 m로 평균 17.8±8.5% 통계적으로 유의한 증가를 보였다($p=0.002$). 심장 이식 수술 후 퇴원까지는 평균 23일±5일 동안 중환자실 및 격리병실 침상 안정을 취했으며, 퇴원 당일 측정된 6 MWD는 520.7±35.4 m로 측정되어 훈련 후에 비하여 유의한 감소는 보이지 않았다($p=0.708$). 입원 당시의 6 MWD에 비해 퇴원 당일 측정된 6 MWD는 유의한 증가를 보였다($p=0.011$)(그림 5).

표 2. 최대근력 및 보행능력 변화

	pre-training	post-training	discharge
MVIC (N)	403.9±73.9	478±76.9	398±97.4
MMP (watt)	155.5±57	186.7±65	145.5±77.6
6 MWD (m)	441.6±64.9	520.3±53.9	520.7±35.4

MVIC: maximal voluntary isometric contraction, MMP: mean muscle power, 6 MWD: 6 minutes walking distance, M±SD

2. 하지 신전근 등척성 최대근력

대상자들의 훈련 전 MVIC는 $403.9 \pm 73.9\text{N}$ 에서 훈련 후 $478 \pm 76.9\text{N}$ 으로 평균 $19.7 \pm 8.87\%$ 통계적으로 유의한 증가를 보였다($p=0.001$). 심장 이식 수술 후 퇴원까지는 평균 23일 정도 중환자실 및 침상 안정을 취했으며, 퇴원 당일 측정된 MVIC는 $398 \pm 97.4\text{N}$ 으로 측정되어 훈련 후에 비해 통계적으로 유의한 근력 감소를 보였다($p=0.032$). 그러나 훈련 전과 퇴원 당일 측정된 MVIC는 통계적으로 유의한 감소는 보이지 않았다($p=0.937$)(그림 6).

2. 하지 신전근 평균 파워

대상자들의 훈련 전 MMP는 $155.5 \pm 57\text{watt}$ 에서 훈련 후 $186.7 \pm 65\text{watt}$ 로 평균 $23 \pm 14.3\%$ 통계적으로 유의한 증가를 보였다($p=0.003$). 퇴원 당일 측정된 MMP는 $145.5 \pm 77.6\text{watt}$ 로 측정되어 훈련 후에 비하여 통계적으로 유의한 감소를 보였다($p=0.015$). 그러나 훈련 전과 퇴원 당일 측정된 MMP는 통

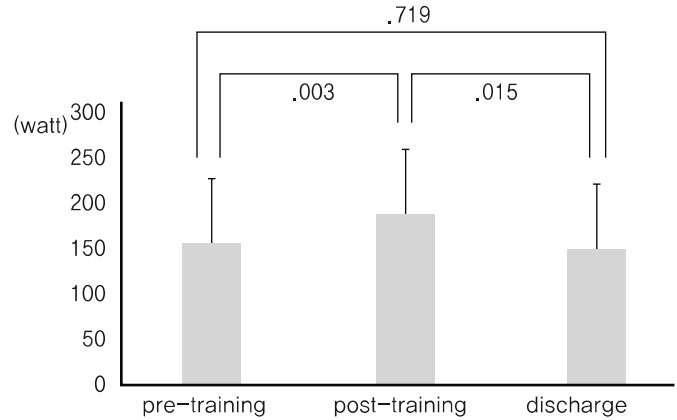


그림 7. 하지 신전근 평균 파워

계적으로 유의한 감소는 보이지 않았다($p=0.719$)(그림 7).

IV. 논 의

본 연구에 참여한 대상자들은 이식 수술을 받기 위해 평균 93 ± 55 일 입원 대기하였으며, 심장이식 수술 후 평균 23 ± 5 일의 회복기를 거친 후 퇴원하였다. 장기간의 입원 대기 기간 동안 감소된 신체활동량에 의한 신체 기능의 약화(de-conditioning)를 예방하기 위해 운동 프로그램을 진행한 결과 수술 후 장기 침상 안정 후 퇴원 시에도 초기 입원 시에 비해 유의한 근력 감소가 발생하지 않았다. 특히 6 MWD는 훈련 후 약 17.8% 유의한 증가를 보였고 퇴원 당시에도 향상된 보행능력이 유지되었다. Forestien 등(2016)이 심장이식 대기 환자에게 대해 직립자세 사이클 운동을 3분 운동 - 1분 휴식 인터벌 훈련(4분 1세트, 회당 5세트 20분)을 심장이식 수술을 받을 때 까지 진행한 결과 6 MWD에서 $15.5 \pm 3.2\%$ 증가하여 대조군(앉은 자세 맨손체조 및 호흡 훈련)에 비하여 유의한 증가하여 수술대기 중 사이클 에르고미터 운동이 긍정적인 효과가 있다고 하였다. Pu 등(2001)은 80대 여성 만성 HF 환자 16명을 대상으로 80% 1 RM 저항으로 레그 프레스 근력 훈련(회당 20분, 주 3회, 10주) 후 6 MWD에서 평균 13% 유의한 증가를 보였다고 하였다. Savage 등(2011)은 HF 환자(LVEF $32 \pm 2\%$, 연령 72.1 ± 2.1 세) 10명을 대상으로 50~80% 1RM 저항으로 상지와 하지의 근력그룹에 대한 점중 저항 근력 훈련(주 3회, 8주) 후 최고 산소섭취량(VO_2 peak)이 평균 7% 증가한다고 보고하였다. 선행연구 결과들로 미루어 볼 때, 근력 운동만으로도 6 MWD와 VO_2 peak 등 유산소 운동능력이 개선된다는 것을 알 수 있다.

한편 Chrysohoou 등(2014)은 HF(LVEF $\leq 50\%$)환자 33명

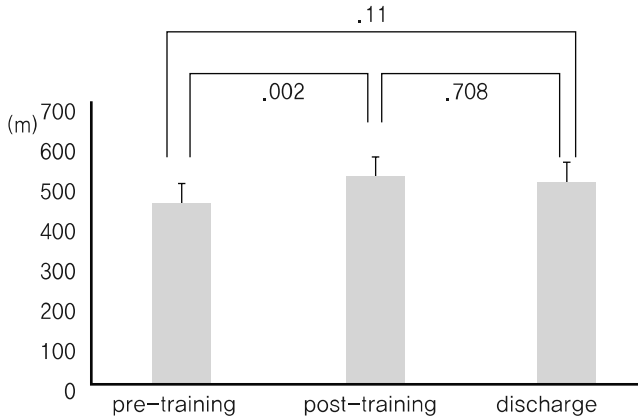


그림 5. 6분 보행 거리

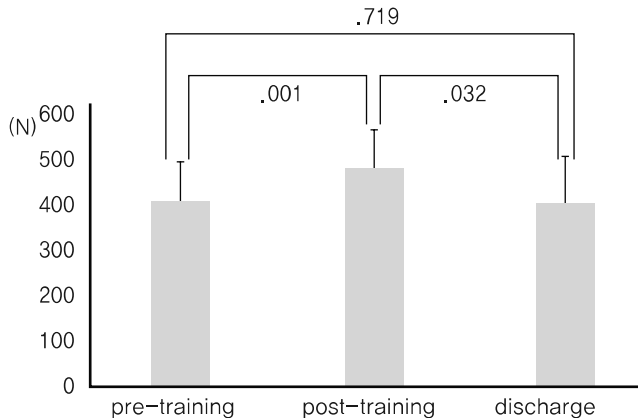


그림 6. 하지 신전근 등척성 최대근력

을 대상으로 근력운동과 함께 사이클 에르고미터를 이용하여 100% WR peak 부하로 30초 운동과 30초 휴식의 고강도 인터벌 훈련(hight intensity interval training, HIIT, 45분, 주 3회, 16주) 후 6 MWD(13%)와 VO2 peak(31%), WR peak(25%)가 유의하게 증가한다고 보고하였다. Smart와 Steele(2012)는 HF 환자(LVEF 58.9±11.9%, 연령 67±6세) 12명을 대상으로 사이클 에르고미터를 이용하여 점증부하 심폐기능 검사를 실시한 후 70% VO2 peak 강도로 HIIT(회당 30분, 주 3회, 16주) 후 VO2 peak가 평균 21% 상승한다고 하였다. Fu 등(2013)이 HF 환자(LVEF<40%) 14명을 대상으로 한 연구에서도 사이클 에르고미터를 이용하여 80% VO2 peak(3분) - 40% VO2 peak(3분) HIIT(회당 60분, 주 3회, 12주) 후 VO2 peak가 22% 유의한 증가를 보였다고 하였다. 선행연구들을 살펴보면 운동 강도가 높은 HIIT 후 peak VO2가 더욱 높은 증가율을 보이는 것을 알 수 있다. 본 연구는 심장이식 대기 중인 중증의 HF 환자(LVEF 18.3±6.4%)를 대상으로 하여 리컴벤트 사이클은 40% WR peak, 레그 프레스는 50% 1RM 부하를 적용하였다. 선행 연구결과들과 비교할 때 상대적으로 낮은 훈련 강도에도 불구하고 6 MWD에서 적지 않은 훈련 효과를 보였다. 향상된 보행능력은 이식 수술 후 평균 23±5일 동안의 장기 침상안정 후에도 유지되었다. 훈련 전과 후의 6 MWD 개선은 근 기능 향상에 의한 결과로 볼 수 있지만, 수술 후 하지의 MVIC, MMP가 유의하게 감소하였음에도 보행능력이 유지된 것은 수술 후 심장 기능 개선에 의한 것으로 생각된다.

본 연구에서 훈련 후 하지 신전근 MVIC는 평균 19.7±8.87% 상승하였다. Pu 등(2001)은 80% 1RM의 높은 저항으로 레그 프레스 근력 훈련 후 43.4±8.8%의 근력 증가를 보고하였다. Savage 등(2011)은 50% 1RM 저항으로 근력 훈련을 시작하여 80% 1RM까지 저항을 높인 훈련 결과에서 평균 34.3%의 근력 증가를 보고하였다. Levinger 등(2005)은 HF 환자(LVEF 35.4±6.3, 연령 57.3±11.1세) 8명을 대상으로 40% 1RM 저항으로 근력 훈련을 시작하여 60% 1RM까지 저항을 높인 훈련(주 3회, 8주) 후 21.3%의 근력 증가를 보고하였다. Smart와 Marwick(2004)의 HF 환자와 운동 효과에 대한 systematic review 연구를 살펴보면 2,387명의 HF 환자(LVEF 27±7%, 연령 59±7세)를 대상으로 60(±10)% VO2 peak 강도로 주 3회, 16주 유산소 훈련 후 9%의 근력 증가를 보고 하였다. 본 연구 결과와 선행 연구를 종합해 보면 근력 운동은 저항이 높을수록 근력 증가 효과가 높았음을 알 수 있다. 본 연구는 중증 HF 환자를 대상으로 하여 비슷한 강도의 유산소 운동 중 혈액학적 반응과 비슷하거나 낮아 안전성이 확보된 50% 1RM 강도로 훈련하였으며 5주의 비교적 짧

은 훈련 기간임에도 적지 않은 근력 증가를 보였다. 그러나 훈련에 의해 향상된 MVIC는 침상 안정 회복기 후 유의하게 감소되는 양상을 보였으나 훈련 전 측정된 MVIC에 비해 감소하지는 않았다.

본 연구에서 훈련 후 하지 신전근 MMP는 약 23±14.3% 증가하였다. Chrysohoou(2015)의 연구에서 HF 환자 33명을 대상으로 근력운동과 HIIT(회당 45분, 주 3회, 16주) 후 근육의 최고 파워가 25% 증가한다고 하여 본 연구와 비슷한 결과를 보고하였다. 그러나 훈련에 의해 향상된 MMP는 침상 안정 회복기 후 유의하게 감소되는 양상을 보였으나 훈련 전 측정된 MMP에 비해 감소하지는 않았다.

근 파워 개선을 위한 운동 프로그램은 전통적인 방식의 근력 운동보다 노인세대의 신체 기능 개선에 더욱 효과적인 방법으로 알려져 있다(Balachandran 등, 2017). 훈련하고자 하는 근육에 적절한 저항을 가한 후 고속 운동과 휴식을 반복하는 방식으로 HIIT의 한 방법에 속한다. 그러나 현재 HF 환자를 대상으로 한 선행연구 등에서 근 파워 개선이 유산소 운동 능력이나 신체 기능 향상, 삶의 질 개선이나 재입원을 등에 어떠한 영향을 미치는 지에 관한 연구들은 부족한 실정이다.

본 연구의 제한점은 실험 대상자의 수가 적었으며, 운동 프로그램에서 배재하여 관찰한 대조군이 없었던 점이 있다.

V. 결 론

심장이식 수술을 받기 위해 입원한 8명의 HF 환자에 대해 24회의 리컴벤트 사이클 유산소 운동, 레그 프레스 근력 운동을 실시한 결과는 다음과 같다.

1. 훈련 전 6 MWD는 훈련 후 유의한 증가를 보였으며 수술 후 장기 침상 안정 후에도 유지되었다.
2. 훈련 전 MVIC는 훈련 후 유의한 증가를 보였으나 수술 후 장기 침상 안정 후에는 유의한 감소를 보였다. 그러나 훈련 전과 퇴원 당일 MVIC는 유의한 차이가 없었다.
3. 훈련 전 MMP는 훈련 후 유의한 증가를 보였으나 수술 후 장기 침상 안정 후에는 유의한 감소를 보였다. 그러나 훈련 전과 퇴원 당일 MMP는 유의한 차이가 없었다.

참고문헌

유호열, 윤종찬, 강석민 등. 정상인에서 리컴벤트(recumbent)와 직립(uptight) 사이클 운동의 심폐반응 비교; 심부전 재활프로그램에 대한 임상적 적용 가능성 고찰. *대한 심장호흡물리*

치료학회지/2014;2(1);31 -34

- Allen DG. skeletal muscle function: role of ionic changes in fatigue, damage and disease. *Clin Exp pharmacol physiol.* 2004;31:485-493
- Balachandran AT, Gandia K, Jacobs KA, et al. Power training using pneumatic machines vs. plate loaded machines to improve muscle power in older adults. *Exp Gerontol.* 2017;98:134-142
- Cesari M, Leeuwenburgh C, Lauretani F, et al. Frailty syndrome and skeletal muscle: results from the Invecchiare in Chianti study. *Am J Clin Nutr.* 2006;83:1142-8
- Chrysohoou C, Tsitsinakis G, Vogiatzis I, et al. High intensity, interval exercise improves quality of life of patients with chronic heart failure: a randomized controlled trail. *QJM.* 2014;107(1):25-32
- Chrysohoou C, Angelis A, Tsitsinakis G, et al. Cardiovascular effects of high intensity interval aerobic training combined with strength exercise in patients with chronic heart failure. A randomized phase III clinical trial. *Int J Cardiol.* 2015;20;179:269-74
- Egana M, Riordan DO, Warmington SA. Exercise performance and VO2 kinetics during upright and recumbent high intensity cycling exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2010;110:39-47
- Forestien P, Guizlini S, Peres M, et al. A cycle ergometer exercise improves exercise capacity and inspiratory muscle function in hospitalized patients awaiting heart transplantation: a pilot study. *Braz J Cardiovas Surg.* 2016;31(5):389-395
- Fowler RM, Maiorana AJ, Jenkins SC, et al. A comparison of the acute haemo dynamic response to aerobic and resistance exercise in subjects with exercise-induced pulmonary arterial hypertension. *Eur J Prev Cardiol.* 2013;20(4):605-12
- Fu TC, Wang CH, Lin PS, et al. Aerobic interval training improves oxygen uptake efficiency by enhancing cerebral and muscular hemodynamics im patients with heart failure. *Int J Cardiol.* 2013;167(1):41-50.
- Kerr A, Rafferty D, Moffat F, et al. Specificity of recumbent cycling as a training modality for the functional movements;sit-to-stand and step-up. *Clinical Biomechanics.* 2007;22:1104-1111
- Levinger I, Bronks R, Cody DV, et al. Resistance training for chronic heart failure patients on beta blocker medications. *Int J Cardiol.* 2005;102: 493-9
- Miller MS, Vanburen P, Lewinter MM, et al. Mechanisms underlying skeletal muscle weakness in human heart failure. alterations in single fiber myosin protein content and function. *Heart Fail.* 2009;2:700-6
- Pu CT, Johnson MT, Froman DE, et al. Randomized trail of progressive resistance training to counteract the myopathy of chronic heart failure. *J Appl Physiol.* 2001;90(6):2341-50
- Savage PA, Shaw AO, Miller MS et al. Effect of resistance training on physical disability in chronic heart failure. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43:1379-86
- Smart N, Marwick TH. Exercise training for patients with heart failure: a systematic review of factors that improve mortality and morbidity. *Am J Med.* 2004;116:693-706
- Smart NA, Steele M. A comparison of 16weeks of continuous vs intermittent exercise training in chronic heart failure patients. *Congest Heart Fail.* 2012;18(4):205-11
- Song CY, Lin YF, Wei TC, et al. Surplus value of hip adduction in leg-press exercise in patients with patellofemoral pain syndrome: a randomized controlled trail. *Phys Ther* 2009;89(5):409-18
- Yancy CW, Jessup M, Bozkurt B, et al. American College of Cardiology Foundation / American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Am J Cardiol.* 2013;62(16):e147-239