무릎관절 신전-굴곡운동과 트레드밀 운동에서 나타난 운동지표의 비교

이화여자대학교 의과대학 재활의학교실, [1]대구가톨릭대학교 의과대학 재활의학교실, [2]계명대학교 의과대학 재활의학교실

장병홍 · 윤태식 · 박기영[1] · 이소영[2] · 배하석

Comparison of Exercise Indexes between Knee Extension-Flexion Exercise and Treadmill Exercise

Byung Hong Jang, M.D., Tae Sik Yoon, M.D., Gi Young Park, M.D.[1], So Young Lee, M.D.[2] and Ha Suk Bae, M.D.

Department of Rehabilitation Medicine, Ewha Womans University College of Medicine, [1]The Catholic University of Daegu College of Medicine, [2]Keimyung University College of Medicine

Objective: To obtain clinical usefulness of knee extension-flexion exercise by comparing the exercise indexes between treadmill exercise and knee extension-flexion exercise and to collect reference of exercise indexes using knee extension-flexion exercise.

Method: Sixty four young healthy subjects participated in two modes of exercise. Subjects performed exercise using isokinetic dynamometer in one leg knee extension-flexion exercise and treadmill running using Bruce protocol in treadmill exercise. We recorded oxygen consumption, heart rate during rest and exercise.

Results: When comparing exercise indexes using treadmill exercise, we obtained relative exercise indexes using knee extension-flexion exercise, male 15.96%, female 15.77% in work rate, male 48.46%, female 52.53% in peak oxygen consumption, male 73.57%, female 80.82% in peak heart rate, male 65.97%, female 65.20% in oxygen pulse, male 56.07%, female 62.50% in peak tidal volume, male 82.56%, female 82.53% in peak respiratory rate, male 47.79%, female 49.48% in peak minute ventilation. In dynamic variables, we obtained male 266.82%, female 292.98% in ratio increase in oxygen consumption to increase in work rate.

Conclusion: Knee extension-flexion exercise showed enough response to evaluate cardiorespiratory function through low work rate. Therefore knee extension-flexion exercise may be used for an exercise tolerance test in patients who cannot perform established exercise tolerance test. **(J Korean Acad Rehab Med 2007; 31: 541-546)**

Key Words: Knee extension-flexion exercise, Cardiovascular function

서 론

신체운동능력(health-related physical fitness)이란 생리학적 스트레스에 대응하는 능력의 한계를 의미하며, 평가항목은 체구성(body composition)측정, 근력과 근지구력 측정, 유연성 측정 및 운동부하검사를 통한 심폐기능(cardiorespiratory fitness)측정 등이 있으며, 운동부하검사는 심혈관계 질환 진단을 목적으로 시행하기도 한다.

편마비 환자를 대상으로 한 기존의 운동부하검사에서는 트레드밀이나 자전거 에르고미터(ergometer)가 주로 이용되었으며, 그 외에 앙와위 자전거 에르고미터, 상완 에르고미터, 휠체어 에르고미터가 이용되고 있다.[1-6] 그러나 편마비가 현저한 뇌졸중 환자 등을 포함해 초기 재활치료를 받는 중증 환자들은 보행이 불가능하거나 좌위균형능력이 현저히 감소되어 있으므로, 이러한 운동부하검사를 적용하기 어려웠다. 다른 연구에서 무릎관절 신전운동을 이용한 운동부하검사가 시도 되었는데, Anderson 등[7,8]은 정상인을 대상으로 한쪽 다리의 무릎관절 신전운동을 이용한 운동부하검사를 시행하여 일량과 산소소모량 사이에 양의 상관관계를 입증하였고, 윤 등[9]은 뇌졸중 환자를 대상으로 무릎관절 신전-굴곡운동을 이용한 운동부하검사를 이용하여 신체운동능력이 뇌졸중 환자의 기능적 회복에 미치는 영향을 연구하였다.

또한 초기 재활치료를 받는 중증 환자들은 최대 운동부하검사를 시행하기 힘드므로, 최대 운동부하검사를 통해서 얻을 수 있는 안정 때 산소 소모량($\dot{V}_{O2rest}$), 최고 산소 소모량($\dot{V}_{O2peak}$), 안정 때 심박수(HR_{rest}), 최고 심박수(HR_{peak}), 혈압, 총 일량(total work), 운동시간, 일률(work rate, WR) 등과 같은 변수로써 운동능력을 비교하는것이 어렵다. 그러므로 최대하(submaximal) 운동부하검사로 얻을 수 있는 운동지표인 일률 변화값에 대한 산소 소모량 변화값의 비율($\triangle\dot{V}_{O2}/\triangle WR$), 일률 변화값에 대한 심박수 변화값의 비율(△

접수일: 2007년 2월 2일, 게재승인일: 2007년 8월 20일
교신저자: 장병홍, 서울시 양천구 목6동 911-1
㊞ 158-710, 이대목동병원 재활의학과 외래
Tel: 02-2650-5035, Fax: 02-2650-5145
E-mail: freshai@naver.com

HR/△WR), 심박수 변화값에 대한 산소 소모량 변화값의 비율(△$\dot{V}_{O2}$/△HR), 이산화탄소 생성량 변화값에 대한 분당 환기량 변화값의 비율(△$\dot{V}_E$/△$\dot{V}_{CO2}$) 등과 같은 동적변수도 사용할 수 있다. 특히 일률 변화값에 대한 산소소모량 변화값의 비율에 관한 연구를 보면,[10] 일의 효율성은 나이, 성별, 운동 숙련도에 관계없이 일정한 값을 보여 근 수축에 필요한 기본적인 생화학적 에너지 방출 반응을 보인다고 하였고, Wasserman 등[11]은 일률과 산소소모량은 대략 10 mL/min/watt의 양의 상관관계를 가지며 나이, 성별, 운동 숙련도에 관계없이 일정한 값을 보였으나, 과체중인 경우 더욱 많은 산소소모량을 보여, 체중이 일의 효율성에 영향을 준다고 하였다. 또한 Neder 등[12]은 20에서 80대 사이의 건강한 성인 120명을 대상으로 전자기(electromagnetically) 브레이크 자전거 에르고미터를 이용한 운동부하검사를 시행하여 일률 변화값에 대한 산소 소모량 변화값의 비율을 측정하여 나이, 성별 및 인체 측정치에 관계없이 일정한 값을 보였고, 최고 산소소모량과 양의 상관관계(positive correlation)를 나타내었으나, 운동 능력이 떨어지는 사람에서 좀 더 낮은 값을 보고하였다. Hansen 등[13]은 정상 군과 순환계 질환군을 대상으로 자전거 에르고미터를 이용한 운동부하검사를 시행하여 일률 변화값에 대한 산소 소모량 변화값의 비율을 측정하였으며, 이 값은 심혈관계 질환군에서 정상군에 비해 낮은 값을 나타내었다고 보고하였다.

이와 같이 기존 연구에서 유용성이 입증된 지표인 운동효율성이 무릎관절 신전-굴곡 운동을 통한 검사에서도 잘 반영되는지, 특히 기존 방법인 트레드밀을 통한 검사와 비교함으로써 장단점을 평가할 필요성이 생겼다. 그러므로 본 연구에서 건강한 정상 성인을 대상으로 트레드밀 운동과 한쪽 다리의 무릎관절 신전-굴곡 운동을 시행한 후, 측정된 운동지표를 비교하여 한쪽다리의 무릎관절 신전-굴곡 운동을 이용한 운동부하검사의 기초자료로 활용하고자 한다.

연구대상과 방법

1) 연구대상

20에서 30대사이의 건강한 성인을 대상으로 운동부하검사를 시행하였다. 미국스포츠의학회(American College of Sports Medicine)의 운동부하검사 금기 기준[14]에 따라 불안정성 협심증, 불안정성 부정맥, 대동맥 협착증, 임상적으로 불안정한 심부전증, 급성 폐 색전증, 급성 심근염 및 심낭염, 급성 감염이 있는 환자는 대상에서 제외하였다. 또한 운동부하 검사 도중 다리의 통증 혹은 피로와 같은 국소적인 문제로 검사를 중단, 포기한 3명도 제외하였다. 최종 대상은 64명으로 평균 연령은 남자 28.1±5.9세, 여자 23.7±3.3세, 평균 몸무게는 남자 75.8± 4.8 kg, 여자 54.8±8.4 kg, 평균 키는 남자 1.742±0.039 m, 여자 1.628±0.047 m, 평균 체질량지수는 남자 24.9±4.3 kg/m^2, 여자 20.6±2.7 kg/m^{2}이었다(Table 1).

Table 1. General Characteristics of the Subject

	Male	Female
Number	17	47
Age	28.1±5.9	23.7±3.3
Weight (kg)	75.8±14.8	54.8±8.4
Height (m)	1.742±0.039	1.628±0.047
BMI (kg/m^2)	24.9±4.3	20.6±2.7
BSA (m^2)	1.922±0.203	1.583±0.137

Values are mean±S.D.

2) 연구방법

1주일 간격으로 한쪽 다리의 무릎관절 신전-굴곡 운동과 트레드밀 운동을 시행하였다. 무릎 신전-굴곡 운동에서 사용된 운동부하 방법은 등속성 근력측정기(Cybex 6000®, Ronkonkoma, U.S.A.)를 이용하여, 앉은 상태에서 우성 무릎관절의 신전 및 굴곡운동을 시행하였다. 150°/sec의 각속도로 180회 반복하였고, 최대 근력의 30～40% 이상을 유지하면서, 일량과 검사소요시간을 측정하여 일률을 구하였다.

트레드밀 운동에서는 Bruce protocol를 이용하였고, 다음의 3가지 기준 중 2가지 이상을 만족하면 운동을 중지하였다.

(1) 산소소모량이 고원(plateau)을 형성하였을 때(부하의 증가에도 산소소모량의 증가량이 1.5～2.0 ml/kg/min 이하)

(2) 호흡교환비율(respiratory exchange ratio, the ratio between CO_2 production and O_2 consumption)이 1.1 이상일 때

(3) 최대심박수가 나이를 고려한 최대값의 85% 이상일 때 (220−age or 202−0.72×age)

가스분석은 MetaLyzer II® (Cortex Biophysik GmbH, Leipzig, Germany)의 혼합챔버방식(mixing chamber mode)을 사용하여 10초 간격으로 측정하였고, 이를 30초 간격으로 평균하여 자료를 구하였다.

심박수는 MetaLyzer II®에 부착된 심박측정기(Polar Electro Oy, Kempele, Finland)를 사용하여 10초 간격으로 측정하였다. 안정때 값은 5분 동안 안정 상태에서 측정한 값의 평균값으로, 최고값은 운동 수행중 측정된 가장 높은 값으로 정의하였다.

총 일량, 운동시간, 일률, 안정 때 산소 소모량, 최고 산소소모량, 산소 소모량의 변화값, 안정 때 심박수, 최고 심박수, 심박수의 변화값, 일률 변화값에 대한 산소소모량 변화값의 비율, 일률 변화값에 대한 심박수 변화값의 비율, 산소소모량 변화값에 대한 심박수 변화값의 비율, 그리고 Sun 등[15]의 연구에서 제시한 운동 중 가장 낮은 $\dot{V}_E/\dot{V}_{CO2}$ 비율을 구하여 두 운동 방법에서 측정된 각각의 변수들을 비교 분

석을 하였다.

3) 통계처리

통계분석은 SPSS 12.0 for windows를 이용하였고, 모든 자료의 평균과 표준편차를 구하였다. 남녀 간의 차이는 independent t 검사, 두 운동 방법 사이의 차이는 paired-t 검사 를 이용하여 분석하였고, 통계적 유의수준은 $p<0.05$로 설정하였다.

결 과

1) 일량, 검사시간, 일률, 최고 산소소모량, 최고 심박수의 비교

두 운동 방법에서 측정된 일률, 최고 산소소모량, 최고 심박수는 모두 통계학적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.05$) (Table 2). 트레드밀 운동의 측정치와 비교하였을 때 무릎관절 신전-굴곡 운동의 측정치에서 일률은 남자 15.96% 여자 15.77%를 보였다. 최고 산소소모량의 비교에서 남자 48.46%, 여자 52.53%, 자전거 에르고미터을 이용하여 연령별 최고 산소소모량을 측정한 Jones 등[16]의 연구를 바탕으로 예측한 최고 산소소모량은 남자 46.44%, 여자 51.98%를 보였다. 심혈관계 지표인 최고 심박수의 비교에서 남자 73.57%, 여자 80.82%, 심박수에 대한 산소소모량의 비율인 산소맥박의 최고값 비교에서 남자 65.97%, 여자 65.20%를 보였다. 호흡계 지표인 최고 1회 호흡량의 비교에서 남자 56.07%, 여자 62.50%, 최고 호흡수 비교에서 남자 82.56%, 여자 82.53%, 최고 분당 환기량 비교에서 남자 47.79%, 여자 49.48%를 보였다.

2) 동적 변수

두 운동 방법에서 동적변수인 일률 변화값에 대한 산소소모량 변화값의 비율을 포함한 동적 변수들은 통계학적으로 유의한 차이를 보였으며($p<0.05$)(Table 3), 트레드밀 운

Table 2. Comparison of Exercise Indexes between Knee Extension-Flexion Exercise Group and Treadmill Exercise Group

	Male (n=17)			Female (n=47)		
	Treadmill exercise	KEF exercise	%	Treadmill exercise	KEF exercise	%
Test duration (sec)	748.82±83.15	266.00±36.92	35.52	664.30±76.83	291.66±39.06	43.90
Work rate (Watt)	268.01±48.79	42.79±9.18	15.96	177.07±34.00	27.93±6.05	15.77
$\dot{V}O_{2peak}$ (A)(L/min)	3.19±0.52	1.54±0.43	48.46	1.99±0.34	1.05±0.23	52.53
$\dot{V}O_{2peak}$ (R)(ml/min/kg)	42.68±5.95	20.68±5.52	48.45	36.71±5.43	19.25±3.76	52.43
% predicted of $\dot{V}O_{2peak}$ (A)(%)	106.13±14.81	49.29±12.93	46.44	102.39±16.83	53.23±11.63	51.98
HR_{peak} (bpm)	186.96±12.94	137.56±20.45	73.57	190.23±8.80	153.75±16.57	80.82
Peak oxygen pulse (ml/min/bpm)	17.34±2.41	11.44±2.54	65.97	10.72±1.71	6.99±1.47	65.20
Peak tidal volume (L)	2.55±0.39	1.43±0.39	56.07	1.60±0.28	1.00±0.26	62.50
Peak respiratory rate	45.72±9.02	37.74±5.73	82.54	48.43±7.07	39.97±7.02	82.53
Peak minute ventilation (L/min)	105.50±24.87	50.42±18.77	47.79	73.13±13.89	36.19±8.90	49.48

Values are mean±S.D.

$\dot{V}O_{2peak}$ (A): Absolute (or total) peak oxygen consumption, $\dot{V}O_{2peak}$ (R): Peak oxygen consumption divided by body weight, HR_{peak}: Peak heart rate, KEF: Knee extension-flexion, %: (Data of knee extension-flexion exercise/data of treadmill exercise)×100

Table 3. Comparison of Dynamic Indexes between Knee Extension-Flexion Exercise Group and Treadmill Exercise Group

	Male			Female		
	Treadmill exercise	KEF exercise	%	Treadmill exercise	KEF exercise	%
$\triangle\dot{V}O_2$(A)/$\triangle$WR (ml/min/W)	10.61±1.10	28.31±7.41	266.82	9.98±1.52	29.24±6.18	292.98
$\triangle\dot{V}O_2$(R)/$\triangle$WR (ml/min/kg/W)	0.14±0.02	0.38±0.11	271.42	0.18±0.03	0.54±0.12	300.00
$\triangle$HR/$\triangle$WR (bpm/W)	0.40±0.06	1.54±0.62	385.00	0.61±0.11	2.59±0.61	424.59
$\triangle$HR/$\triangle\dot{V}O_2$ (A)(bpm/L/min)	39.23±9.54	54.42±17.03	138.72	62.84±12.48	91.84±26.74	146.14
$\triangle$HR/$\triangle\dot{V}O_2$ (R)(bpm/ml/min/kg)	2.89±0.48	4.02±1.03	139.10	3.40±0.60	4.97±1.37	146.17
Lowest $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$ (L/L)	21.95±1.59	24.96±1.95	113.71	22.97±2.35	25.17±2.72	109.57

Values are mean±S.D.

$\dot{V}O_2$ (A): Absolute (or total) oxygen consumption, $\dot{V}O_2$ (R): Oxygen consumption divided by body weight, $\triangle\dot{V}O_2$: Rate of peak oxygen consumption ($\dot{V}O_{2peak}$) - rate of rest oxygen consumption ($\dot{V}O_{2rest}$), $\triangle$WR: Work rate at exercise - work rate at rest, KEF: Knee extension-flexion, %: (Data of knee extension-flexion exercise/data of treadmill exercise)×100

동의 측정치와 비교하였을 때 무릎관절 신전-굴곡 운동의 측정치에서 일률 변화값에 대한 전체 산소 소모량 변화값 비율의 비교에서 남자 266.82%, 여자 292.98%로 남녀 간에 통계학적 차이가 없었으나, 일률 변화값에 대한 체중당 산소 소모량 변화값 비율의 비교는 남자 271.42%, 여자 300.00%로 남녀 간에 통계학적 차이를 나타내었다. 심혈관계 지표인 일률 변화값에 대한 심박수 변화값 비율의 비교에서 남자 385%, 여자 424.59%, 산소 소모량 변화값에 대한 심박수 변화값 비율의 비교에서 남자 138.72%, 여자 146.14%를 보였다. 호흡계 지표인 가장 낮은 $\dot{V}_E/\dot{V}_{CO2}$ 비율의 비교에서 남자 113.71%, 여자 109.57%를 보였다.

고 찰

신체운동능력 평가에서 가장 많이 이용되는 최대 산소소모량의 결정인자를 보면, 운동선수(fit, healthy, athletic individual)가 큰 근육을 사용하는 운동을 하였을 때, 산소소모량은 주로 심혈관계능력에 의해 결정되며, 근대사능력은 심혈관계의 능력을 초과한다.[17] 그러나 신체운동능력이 감소된 사람은 산소소모량이 근대사능력에 의해 결정된다.[18] 초기 재활치료를 받는 환자들의 운동 능력평가에 관한 연구[1-6]에서 아급성기 뇌졸중 환자들을 대상으로 트레드밀이나 자전거 에르고미터를 활용한 운동능력 평가를 실시하였으며, 측정한 최대 산소소모량과 최대 심박수, 최대 수축기와 이완기 혈압, 심근부담율(rate pressure product) 등을 이용하여 보행 능력 등에 대한 예후에 활용하였다. 그러나 이러한 운동부하검사는 보행이 불가능하거나 좌위균형능력이 현저히 감소된 환자들에게 적용이 불가능하다.

무릎관절 신전 운동은 Anderson 등[7,8]에 의해 처음 시도된 이후, 근 기능 평가, 특히 근육내 크레아틴 인산(intramuscular phosphocreatine)[19,20]과 하지 혈류 역학(leg blood flow kinetics)[21-23]을 검사하는 중요한 도구로 사용되고 있다.

한쪽 다리의 무릎관절 신전 운동을 기존의 운동부하검사법인 트레드밀 운동과 비교했을 때, 최대산소소모량은 무릎관절 신전 운동에서 트레드밀운동에 비해 48～52%를 나타내었으나, 일률에 대한 산소소모량 변화값의 비율에서는 266～300%의 값을 나타내었다. Koga 등[24]은 정상성인을 대상으로 사이클 에르고미터 운동과 무릎관절 신전 운동을 함께 시행하여, 무릎관절 신전 운동은 사이클 에르고미터에 비해 근육 동원양식, 혈류와 에너지 반응에서 다른 양상을 나타내었다. 특히 일률에 대한 산소소모량 변화값은 무릎관절 신전 운동에서 12.4±1.7 ml/min/W로 사이클 에르고미터에서 9.4±0.4 ml/min/W에 비해 더 높은 수치를 보여주었다.

Mortensen 등[25]은 지구력 훈련을 받은 남자 18명을 대상으로 일률에 대한 산소소모량 변화값을 측정하였으며, 사이클 에르고미터에서 8.8±0.5 ml/min/W, 무릎관절 신전운동에서 12.2±0.6 ml/min/W이었고, 운동에 사용된 근육 양을 고려하면 사이클 에르고미터에서 175±9 ml/kg/min/W (전체 하지 근육 11.4 kg), 무릎관절 신전 운동에서 443±34 ml/kg/min/W (전체 사두고근 2.9 kg)로 측정되었다. 사이클 에르고미터를 이용한 최대운동에서 운동능력이 제한되는 이유는 1회 심박출량(stroke volume) 감소로 심박출량(cardiac output)이 더 이상 증가되지 않고, 근육의 교감신경성 혈관수축이 증가되므로 다리부위 혈류량과 산소공급이 감소되기 때문이다. 그러나 무릎관절 신전 운동을 이용한 검사에서는 다리의 혈류량이 지속적으로 증가하여 산소공급의 제한이 없으므로 일률에 대한 산소 소모량의 변화값이 높게 측정되었다고 주장하였다.

Richardson 등[26]은 정상성인 남자 5명을 대상으로 무릎관절 신전 운동을 시행하여 측정한 일률에 대한 산소소모량 변화값이 최대 일률의 75% 이하에서 13.2 ml/min/W로 측정되었으나, 최대일률의 75% 이상의 운동 강도에서 31.1 ml/min/W로 증가하였다. 그 이유로 신체 안정화를 위해 보조근육이 사용되거나,[27] 운동 중 과호흡으로 인한 산소소모량의 증가를 추론하였다.[28]

이상의 연구 결과를 참고하였을 때, 본 연구의 실험방법과 차이가 있으나, 무릎관절 신전-굴곡 운동을 이용한 운동부하검사에서 트레드밀 운동부하검사에 비해 일률에 대한 산소소모량이 3배 높게 나타난 것은 참조할만한 운동 지표로 판단된다. 그러나 일률에 대한 산소소모량이 남성과 여성의 차이가 없다고 주장한 기존 연구에[12] 비해, 본 연구에서는 일률 변화값에 대한 체중당 산소소모량 변화값이 남녀 간의 통계학적 차이를 보였는데, 이것이 운동부하 방법의 차이에 의한 것인지는 재검토가 필요할 것으로 생각한다.

본 연구에서 트레드밀 운동에 비해 무릎관절 신전-굴곡 운동에서 심혈관계 기능을 반영하는 지표인 최대 심박수는 73～80%, 최대 산소맥박(peak oxygen pulse)은 65%, 일률에 대한 심박수 변화값의 비율은 385～424%를 나타내었다. 또한 산소 변화값에 대한 심박수 변화값의 비율은 남자의 트레드밀 운동에서 39 bpm/L/min, 무릎관절 신전-굴곡 운동에서는 54 bpm/L/min, 여자의 트레드밀 운동에서 62 bpm/L/min, 무릎관절 신전-굴곡 운동에서는 91 bpm/L/min로 Neder 등[12]의 연구 결과와 비슷한 수치를 보였고, 심박출량과 말초산소 추출능력이 감소할 때 증가하게 된다. 또한 Shoemaker 등[29]은 정상인을 대상으로 사이클 에르고미터 운동 부하 검사에 비해 무릎관절 신전 운동 부하 검사에서 같은 일률에서 심박수는 높게, 1회 심박출량(stroke volume)은 낮게, 심박출량(cardiac output)은 서로 비슷하게 나타났다고 하였으며, 평균 동맥 혈압은 훨씬 높게 나타났다고 하였다.

본 연구에서 호흡기능을 반영한다는 지표는 트레드밀 운동에 비해 무릎관절 신전-굴곡 운동에서 최대 1회 흡기량은 56～62%, 최대 호흡수는 82%, 최대 분당 환기량은 47～

49%를 보였다. 그 외 호흡 효율성을 측정하는 지표로 호흡보정점(ventilatory compensatory point)아래에서 최대호흡량과 이산화탄소생성량 사이의 비율, 무산소역치(anaerobic threshold)에서 $\dot{V}_E/\dot{V}_{CO2}$ 비율, 그리고 Sun 등[15]의 연구에서 제시한 운동 중 가장 낮은 $\dot{V}_E/\dot{V}_{CO2}$ 비율과 같은 3가지 지표가 사용되고 있는데, 그 중 운동 중 가장 낮은 $\dot{V}_E/\dot{V}_{CO2}$ 비율은 Sun 등의 연구에서 25.9±3.0로 측정되어 본 연구의 무릎관절 신전-굴곡 운동에서 나타난 값(남자: 24.96±1.95, 여자: 25.17±2.72)과 거의 같았다.

무릎관절 신전 운동을 이용하여 운동능력의 감소 원인을 규명한 연구를 참조할 때 임상적 유용성을 확인할 수 있다. Richardson 등[21]은 저산소증 상태에서 주로 확산능력(diffusibility)에 의해 근육의 산소소모량이 결정된다고 하였으며, Mortensen 등[25]은 근육모세혈관에서 미토콘드리아 시토크롬(cytochrome)으로 산소 확산능력이나, 미토콘드리아의 산화능력이 제한되기 때문에 운동능력이 감소한다고 하였다. 이는 Haseler 등[30]에 의해 다시 확인되었는데, 평소 운동을 하지 않는 사람들을 대상으로 다양한 FI_{O2} (FIO_2 0.1, 0.21, 1.0) 상태에서 호흡하면서 족관절 굴곡운동을 하였고, ^{31}P-magnetic resonance spectroscopy로 골격근 크레아틴 인산 회복을 측정하여 최대 산화 능력의 결정인자를 평가하였다. 저 산소 상태에서 산소 공급능력에 의해 최대산화능력이 결정되나 산소 공급이 충분한 상황에서 미토콘드리아 능력에 따라 최대산화능력이 결정되므로 산소 공급능력 감소와 근육내 미토콘드리아의 낮은 산소 이용능력을 구분해야 한다고 주장하였다. 이러한 연구결과를 바탕으로 국소적 운동부하검사를 통해서도 심혈관계 이상 등을 포함한 산소공급능력의 감소와 미토콘드리아 이상과 같은 근육대사이상을 구분할 수 있을 것으로 생각한다.

본 연구에서는 무릎관절 신전-굴곡 운동을 이용한 비보행 운동부하검사는 트레드밀을 이용한 운동 부하 검사에 비해 일률 변화값에 대한 심박수 변화값의 비율이 남자 385%, 여자 424%로 나타나, 무릎관절 신전-굴곡 운동을 이용하면 적은 양의 운동부하를 통해서도 충분한 심혈관계 반응을 유도하여 심혈관계 평가에 이용할 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 검사 중 혈압 측정이 이루어지지 않아 정확한 심혈관계 반응을 평가하지 못한 것이 본 연구의 제한점이다.

결 론

본 연구는 20에서 30대의 건강한 정상 성인 64명을 대상으로 트레드밀 운동과 한쪽 다리의 무릎 관절 신전-굴곡 운동을 시행하였고, 이때 측정된 운동지표를 비교하여 한쪽 다리 무릎관절 신전-굴곡 운동을 이용한 운동부하검사의 유용성을 알아보고, 이를 근거로 재활치료를 받는 환자들의 신체운동능력을 평가하는 기초자료로 활용하고자 하였다.

적은 일률의 한쪽 다리의 무릎 관절 신전-굴곡 운동부하를 통해서도 충분한 근대사 반응과 심폐 반응을 유도할 수 있어 기존의 트레드밀 운동부하검사가 어려운 환자에게 유용하게 활용될 수 있을 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

1) Mackay-Lyons MJ, Makrides L. Exercise capacity early after stroke. Arch Phys Med Rehabil 2002; 83: 1697-1702
2) Kelly JO, Kilbreath SL, Davis GM, Zeman B, Raymond J. Cardiorespiratory fitness and walking ability in subacute stroke patients. Arch Phys Med Rehabil 2003; 84: 1780-1785
3) Eng JJ, Dawson AS, Chu KS. Submaximal exercise in persons with stroke: test-retest reliability and concurrent validity with maximal oxygen consumption. Arch Phys Med Rehabil 2004; 85: 113-118
4) Mackay-Lyons MJ, Makrides L. Longitudinal changes in exercise capacity after stroke. Arch Phys Med Rehabil 2004; 85: 1608-1612
5) Hill DC, Ethans KD, MacLeod DA, Harrison ER, Matheson JE. Exercise stress testing in subacute stroke patients using a combined upper- and lower-limb ergometer. Arch Phys Med Rehabil 2005; 86: 1860-1866
6) Tang A, Sibley KM, Thomas SG, McIlroy WE, Brooks D. Maximal exercise test results in subacute stroke. Arch Phys Med Rehabil. 2006; 87: 1100-1105
7) Andersen P, Saltin B. Maximal perfusion of skeletal muscle in man. J Physiol 1985; 366: 233-249
8) Andersen P, Adams RP, Sjogaard G, Thorboe A, Saltin B. Dynamic knee extension as model for study of isolated exercising muscle in humans. J Appl Physiol 1985; 59: 1647-1653
9) Yoon TS, Lee CK, Kim JY, Jang BH. Evaluation of exercise efficiency with change in oxygen uptake and work rate in stroke patients. J Korean Acad Rehab 2005; 29: 578-583
10) Astrand PO. J.B. Wolffe Memorial Lecture. "Why exercise?". Med Sci Sports Exerc 1992; 24: 153-162
11) Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Casaburi R, Whipp BJ. Principles of exercise testing and interpretation, 4nd ed, Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins, 2005, pp18-19
12) Neder JA, Nery LE, Peres C, Whipp BJ. Reference values for dynamic responses to incremental cycle ergometry in males and females aged 20 to 80. Am J Respir Crit Care Med 2001; 164: 1481-1486
13) Hansen JE, Sue DY, Oren A, Wasserman K. Relation of oxygen uptake to work rate in normal men and men with circulatory disorders. Am J Cardiol 1987; 59: 669-674
14) College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription, 6th ed, Baltimore: Lippincott, Williams & Wilkins, 2000, pp35-56

15) Sun XG, Hansen JE, Garatachea N, Storer TW, Wasserman K. Ventilatory efficiency during exercise in healthy subjects. Am J Respir Crit Care Med 2002; 166: 1443-1448
16) Jones NL, Makrides L, Hitchcock C, Chypchar T, McCartney N. Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer test. Am Rev Respir Dis 1985; 131: 700-708
17) Astrand PO, Rodahl K. Textbook of work physiology, 4th ed, New York: McGraw-Hill, 2004, pp237-272
18) Wagner PD. New ideas on limitations to VO2max. Exerc Sport Sci Rev 2000; 28: 10-14
19) Bangsbo J, Krustrup P, Gonzalez-Alonso J, Saltin B. ATP production and efficiency of human skeletal muscle during intense exercise: effect of previous exercise. Am J Physiol Endocrinol Metab 2001; 280: E956-964
20) Rossiter HB, Ward SA, Kowalchuk JM, Howe FA, Griffiths JR, Whipp BJ. Effects of prior exercise on oxygen uptake and phosphocreatine kinetics during high-intensity knee-extension exercise in humans. J Physiol 2001; 537: 291-303
21) Richardson RS, Poole DC, Knight DR, Kurdak SS, Hogan MC, Grassi B, Johnson EC, Kendrick KF, Erickson BK, Wagner PD. High muscle blood flow in man: is maximal O2 extraction compromised?. J Appl Physiol 1993; 75: 1911-1916
22) Radegran G. Ultrasound Doppler estimates of femoral artery blood flow during dynamic knee extensor exercise in humans. J Appl Physiol 1997; 83: 1383-1388
23) Bangsbo J, Krustrup P, Gonzalez-Alonso J, Boushel R, Saltin B. Muscle oxygen kinetics at onset of intense dynamic exercise in humans. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol 2000; 279: R899-906
24) Koga S, Poole DC, Shiojiri T, Kondo N, Fukuba Y, Miura A, Barstow TJ. Comparison of oxygen uptake kinetics during knee extension and cycle exercise. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol 2005; 288: R212-220
25) Mortensen SP, Dawson EA, Yoshiga CC, Dalsgaard MK, Damsgaard R, Secher NH, Gonzalez-Alonso J. Limitations to systemic and locomotor limb muscle oxygen delivery and uptake during maximal exercise in humans. J Physiol 2005; 566: 273-285
26) Richardson RS, Knight DR, Poole DC, Kurdak SS, Hogan MC, Grassi B, Wagner PD. Determinants of maximal exercise VO2 during single leg knee-extensor exercise in humans. Am J Physiol 1995; 268: H1453-1461
27) Saltin B. Hemodynamic adaptations to exercise. Am J Cardiol 1985; 55: 42D-47D
28) Aaron EA, Johnson BD, Seow CK, Dempsey JA. Oxygen cost of exercise hyperpnea measurement. J Appl Physiol 1992; 72: 1810-1817
29) Shoemaker JK, Hodge L, Hughson RL. Cardiorespiratory kinetics and femoral artery blood velocity during dynamic knee extension exercise. J Appl Physiol 1994 ; 77: 2625-2632
30) Haseler LJ, Lin AP, Richardson RS. Skeletal muscle oxidative metabolism in sedentary humans: 31P-MRS assessment of O2 supply and demand limitations. J Appl Physiol 2004; 97: 1077-1081