

## 상하지 사이클 운동에 의한 에너지 소모량 및 보행 능력 비교

연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 재활의학연구소, <sup>1</sup>연세의료원 임상연구센터

배병우 · 이돈신 · 서영주<sup>1</sup> · 백종훈 · 김은상 · 박흥석 · 조성래

### Comparison of Energy Expenditure and Walking Performance by Arm Cycling and Leg Cycling Exercise

Byung Woo Bae, M.D., Don Shin Lee, B.S., Young Joo Seo, B.S.<sup>1</sup>, Jong Hoon Baek, M.D., Eun Sang Kim, M.D., Hong Souk Park, M.D. and Sung-Rae Cho, M.D.

Department of Rehabilitation Medicine and Research Institute of Rehabilitation Medicine, Yonsei University College of Medicine, <sup>1</sup>Clinical Research Center, Yonsei University Medical Center

**Objective:** To investigate the effect of cycling ergometry and to compare energy expenditure and walking performance after arm cycling with those after leg cycling in patients with brain diseases.

**Method:** Twenty-two adults with brain diseases (6 stroke, 4 traumatic brain injury, 4 brain tumor, 4 parkinsonism, 4 cerebral palsy) were recruited as subjects. They were randomly assigned to disease-matched groups; arm cycling and leg cycling (n=11 each). VO<sub>2</sub> (L/min), VCO<sub>2</sub> (L/min), VE (L/min), O<sub>2</sub> rate (ml/kg · min), O<sub>2</sub> pulse (ml/kg · bpm), O<sub>2</sub> cost (ml/kg · m) and VO<sub>2</sub> peak (ml/kg · min) during cycling test or walking test, and walking performance were evaluated after cycling training for 4~6 weeks.

**Results:** Arm cycling exercise did not improve any parameters such as VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> rate and O<sub>2</sub> cost during walking test, whereas it increased VCO<sub>2</sub>, VE and O<sub>2</sub> pulse during cycling test. In contrast, leg cycling significantly improved walking velocity and distance, and decreased O<sub>2</sub> cost during walking test. It also increased all parameters including VO<sub>2</sub> peak during cycling test (p<0.05).

**Conclusion:** Leg cycling exercise improved walking performance and energy efficiency of walking as well as cardio-respiratory fitness relative to arm cycling. Therefore, leg cycling promoted lower-extremity task such as walking in patients with brain diseases. (*J Korean Acad Rehab Med* 2009; 33: 584-590)

**Key Words:** Ergometry, Exercise, Energy expenditure, Walking, Brain diseases

## 서 론

뇌졸중, 외상성 뇌손상, 뇌성마비, 파킨슨 병 등의 뇌신경계 질환 환자에서 유산소 운동(aerobic exercise)의 효과에 대해서는 여러 연구에서 입증된 바 있으며, 이는 심폐 체력(cardiorespiratory fitness)을 대변하는 최대 산소 소모량, 심박 당 산소 소모량 등의 상승으로 나타난다.<sup>1,2</sup> 특히 트레드밀 운동을 통한 반복적인 보행 훈련은 뇌졸중, 뇌손상, 파킨슨 병 등의 환자에서 유산소 능력(aerobic capacity) 및 보행 기능을 향상시킬 뿐만 아니라, 뇌신경 가소성(neural plasticity)을 활성화 시키며 상지 기능도 향상시킬 수 있다고 보고되는 등 최근 많은 연구가 진행되고 있다.<sup>3-8</sup>

그러나 뇌신경계 질환 환자인 경우, 일반인에 비해 수행할 수 있는 운동의 선택폭이 좁으며 독립적인 보행 및 달리기(running)가 불가능한 경우가 많으므로, 유산소 능력 및 보행 기능을 향상 시키기 위한 운동 방식에 있어서는 많은 제한점이 있다.<sup>9</sup> 따라서 앉은 자세에서 시행할 수 있는 사이클 운동<sup>10,11</sup> 또는 스테퍼 운동(body recumbent stepper exercise)<sup>12,13</sup>을 이용하거나, 체중지지 트레드밀(body weight supported treadmill)<sup>14,15</sup> 등을 통한 보행 훈련을 시도하려는 노력이 있어 왔다. 즉, Bilinger 등<sup>13</sup>은 뇌졸중 환자를 대상으로 스테퍼 운동 시행 후 심폐기능 지표인 최대 산소 소모량이 유의하게 증가하였다고 보고하였으며, Sullivan 등<sup>15</sup>은 뇌졸중 환자를 대상으로 체중지지 트레드밀을 이용한 보행 훈련 후 보행 속도 및 거리 등의 보행 기능이 유의하게 증가하였다고 보고한 바 있다. 또한 강 등<sup>16</sup>은 급성기 뇌졸중 환자를 대상으로 상지 에르고미터 운동을 시행한 결과, 대조군에 비해 안정시의 심박동수가 유의하게 감소되었고, 각각-운동 기능이 최대 산소 소모량에 비례하여 호전되었다고 보고하였다.

한편 상지 및 하지 사이클 운동을 비교한 연구를 살펴보

접수일: 2008년 12월 15일, 게재승인일: 2009년 7월 28일

교신저자: 조성래, 서울시 서대문구 신촌동 134

☎ 120-752, 연세대학교 의과대학 재활병원

Tel: 02-2228-3715, Fax: 02-363-2795

E-mail: srcho918@yumc.yonsei.ac.kr

본 연구는 2008년 연세대학교 의과대학 교수연구비(과제번호: 6-2008-0298) 수혜로 진행된 과제임.

면, Olivier 등<sup>17</sup>은 슬관절 수술을 받은 환자에서 두 군 간에 최대 심폐 체력 결과는 차이가 없었으나, 하지 사이클 운동군에서 주관적 운동강도 인지도(ratings of perceived exertion) 및 혈중 젖산 농도가 낮게 측정되어 상지 사이클 운동보다 유산소 운동 참여에 더 적합하다고 보고하였다. 한편, Pogliaghi 등<sup>18</sup>은 노인을 대상으로 하여 상지 또는 하지 사이클 운동을 시행하였을 때, 두 군 모두에서 심폐 체력이 유의하게 증가되었으나, 훈련을 받은 특정 근육을 사용한 검사에서 훈련을 받지 않은 근육을 사용하는 교차 검사에 비해 유산소 능력이 보다 향상되었다고 보고하였다.

그러나 상지 및 하지 사이클 운동을 비교한 연구는 모두 신경학적으로 정상 성인을 대상으로 하였으며, 재활의학 영역에서 흔히 볼 수 있는 뇌신경계 질환 환자에게 두 운동 간의 효과를 분석한 보고는 거의 없다. 이에 본 연구에서는 뇌졸중, 외상성 뇌손상, 뇌종양, 뇌성마비, 파킨슨 병 등의 뇌신경계 질환 환자에서 상지 또는 하지 사이클 운동을 통해 심폐 기능, 유산소 능력 뿐만 아니라 보행 능력이 향상되는지 확인해 보고, 상지 두 운동 간의 효과를 비교 분석해 보고자 하였다.

## 연구대상 및 방법

### 1) 연구대상

보행 장애를 호소하는 뇌신경계 질환 환자 중 기능적으로 실내 보행(household ambulation)만 가능하거나, 사회적 보행(community ambulation)에 제한이 있는 총 22명의 환자를 대상으로 하였다. 대상 질환은 뇌졸중 6명, 외상성 뇌손상 4명, 뇌종양 4명, 파킨슨 병 4명, 뇌성마비 4명으로 구성되었다. 각 대상자는 상지 또는 하지 사이클 운동군으로 각 11명씩 무작위로 나뉘어 유산소 운동을 시행하였다. 이들 대상자 선정을 위한 제외기준은 다음과 같다. 즉, 대상자 중 실내 보행 시 보행 보조기 또는 보호자의 도움이 필요하거나, 사회적 보행에 전혀 제한이 없이 독립적으로 가능한 경우는 제외하였으며, 일상생활동작 수행능력에서 Functional Independence Measure (FIM) 보행(L. Walk) 항목 4점 미만인 경우와 Modified Barthel Index (MBI) 보행(ambulation) 항목 12점 미만인 기능적 수준, 간이 정신상태 검사(Mini-Mental State Examination) 상 23점 미만의 인지 장애, 표현이 안되어 의사 소통이 불가능한 실어증이 있는 환자와 훈련에 대한 동기 부여가 없는 경우에는 대상군에서 제외되었다. 또한, 심근경색의 과거력이 있거나 조절되지 않는 협심증, 관상동맥 질환, 부정맥, 악성 고혈압이 있는 심혈관계 질환 및 내과적으로 불안정한 환자도 제외되었다. 그러나 고혈압 환자 중 약물 치료로 혈압이 조절되고 있는 경우에는 대상군에 포함시켰다.

### 2) 연구방법

산소 소모량 측정기인 KBI-C oxymeter (Aerosport Inc., Ann Arbor, USA)를 이용한 에너지 소모량 평가를 통해 분당 산소 섭취량( $VO_2$ , L/min), 분당 이산화탄소 생성량( $VCO_2$ , L/min), 분당 호흡량(VE, L/min), 산소 소모율( $O_2$  rate, ml/kg · min), 산소 소모비( $O_2$  cost, ml/kg · m), 심박당 산소 소모량( $O_2$  pulse, L/bpm), 최대 산소 소모량( $VO_2$  peak, ml/kg · min) 등을 측정하였다. 피검자의 산소 섭취량은 마스크를 사용하여 호흡하면서, oxygen gas analyzer에 내장된 컴퓨터를 통해 1분 단위로 분석하였다. 처음 5분 간의 안정기를 취한 후 사이클 운동 검사 및 평지 보행(overground walking) 검사를 시작하였고, 총 5분 중 중간 3분 측정치로 상지 지표를 평가하였다. 또한 보행 능력의 평가로 5분 간의 평균 보행 속도 및 총 보행 거리를 측정하였으며, 사이클 운동 검사는 최대 강도로 3~5분 간의 준비 기간(warm-up period)을 거쳐, 최대 운동 강도로 진행하였다. 단, 5분 동안 지속적으로 최대 강도의 사이클 운동 검사 또는 독립적인 보행 검사가 어려운 환자는 3분 동안만 사이클 운동 검사 또는 보행 시의 에너지 소모량 및 보행 거리, 보행 속도 등을 측정하였으며, 각 군 당 2명의 환자는 최소 3분까지 독립적인 보행이 불가능하여 보행 시의 에너지 소모량은 평가하지 못하였다.

초기 평가 후 각 대상자는 실내용 SCIFIT<sup>®</sup> PRO II (Sinties Scientific Inc., Tulsa, USA)를 이용하여 최대 심박수의 약 50~70%의 강도, 주 3회 이상의 빈도, 매회 20~30분 시간, 총 4~6주의 기간 동안 사이클 운동을 시행하였다. 즉, 상지 사이클 운동군은 상지 에르고미터로, 하지 사이클 운동군은 하지 에르고미터를 이용하여 반복적으로 유산소 운동 프로그램을 진행하였다. 총 20회 이상의 사이클 운동을 시행한 후, 상지 에너지 소모량을 재평가하여, 상지 및 하지 사이클 운동군 간의 에너지 소모량 변화를 살펴보았다. 에너지 소모량 평가 시에는 피로도에 의한 오류를 피하기 위해 모든 환자에서 사이클 운동을 통한 평가를 먼저 시행하였고, 다음날 보행 검사를 시행하였다. 또한 환자의 기능적 수준을 평가하기 위해 한국형 간이 정신상태 검사 및 일상생활동작 수행능력 평가를 시행하였다. 일상생활동작 수행능력은 FIM 및 MBI로 측정하였고, 이들 검사 중 보행 능력에 대한 항목을 따로 구분한 점수도 평가하였다. 연구 진행자는 대상 환자의 일반적 특성에 대한 정보를 알지 못한 상태에서 사이클 운동 프로그램 및 에너지 소모량 평가를 진행하였다. 또한 본 연구는 Institutional Review Board (IRB)의 승인을 받았고, 연구 평가에 대해 환자 및 보호자의 동의를 받았다.

통계 방법은 SPSS 11.5 for window version을 사용하여 치료 전후 사이클 운동 검사시 및 보행 검사시 분당 산소 섭취량, 분당 이산화탄소 생성량, 분당 호흡량, 산소 소모율,

산소 소모비, 심박수당 산소 섭취량, 최대 산소 소모율, 보행 속도, 보행 거리 등의 변화를 Wilcoxon signed ranks test로 분석하였다. 또한 상지 및 하지 사이클 운동군의 두 군에 대한 일반적 특성과 상지 에너지 소모량 및 보행 능력 지표 등의 직접적인 통계학적 비교는 Mann-Whitney U test로 분석하였으며, 통계학적인 유의 수준은  $p < 0.05$ 로 채택하였다.

## 결 과

### 1) 일반적 특성

상지 사이클 운동군의 연령은  $46.91 \pm 6.45$ 세, 신장은  $163.18 \pm 2.94$  cm, 체중은  $60.73 \pm 4.05$  kg, 체질량 지수는  $22.59 \pm 0.97$  kg/m<sup>2</sup>, 초기 수축기 혈압은  $129.00 \pm 4.59$  mmHg, 초기 이완기

혈압은  $80.82 \pm 3.97$  mmHg, 초기 심박수는  $78.00 \pm 3.58$  beats/min이었고, 하지 사이클 운동군의 연령은  $48.91 \pm 6.73$ 세, 신장은  $163.36 \pm 3.02$  cm, 체중은  $63.55 \pm 5.86$  kg, 체질량 지수는  $23.51 \pm 1.88$  kg/m<sup>2</sup>, 초기 수축기 혈압은  $128.27 \pm 4.21$  mmHg, 초기 이완기 혈압은  $79.10 \pm 3.98$  mmHg, 초기 심박수는  $79.45 \pm 3.70$  beats/min이었다(Table 1).

간이 정신상태 검사에서 상지 운동군은  $27.91 \pm 0.78$ 점, 하지 운동군은  $27.55 \pm 0.96$ 점이었으며, 일상생활 동작 수행능력 평가 상, 상지 운동군은 FIM  $113.45 \pm 3.86$ 점, FIM 보행 항목  $5.91 \pm 0.37$ 점, MBI  $89.09 \pm 3.38$ 점, MBI 보행 항목  $14.45 \pm 0.37$ 점이었고, 하지 운동군은 FIM  $107.18 \pm 8.17$ 점, FIM 보행 항목  $6.09 \pm 0.37$ 점, MBI  $90.27 \pm 5.07$ 점, MBI 보행 항목  $14.45 \pm 0.37$ 점이었다. 또한 상지 및 하지 운동군에서 모두 기능적 실내 보행군 6명, 제한된 사회적 보행군 5명이었으며, 질환 분포로는 각각 뇌졸중 3명, 외상성 뇌손상 2명, 뇌종양 2명, 파킨슨 병 2명, 뇌성마비 2명으로 동일한 대상자 수로 구성되었다. 즉, 유산소 운동 프로그램 전, 모든 초기 지표에서 상지 및 하지 사이클 운동군 간에 유의한 차이는 없었다(Table 1).

### 2) 사이클 운동 검사시 에너지 소모량 평가

상지 운동 프로그램 후, 상지 사이클 운동 검사시의 분당 산소 섭취량 및 산소 소모율은 유의한 변화를 보이지 않았으나, 분당 이산화탄소 생성량은  $472.18 \pm 42.43$  L/min에서  $553.76 \pm 64.78$  L/min, 분당 호흡량은  $18.83 \pm 1.31$  L/min에서  $24.70 \pm 1.80$  L/min으로 통계학적으로 유의하게 증가되었다 ( $p < 0.05$ ). 또한 심혈관계 체력 지표인 심박 당 산소 소모량은  $5.81 \pm 0.41$  L/beat에서  $6.55 \pm 0.42$  L/beat으로 유의하게 증가 되었으며( $p < 0.05$  by Wilcoxon signed ranks test)(Table 2), 최대 산소 소모량은  $12.58 \pm 1.85$  L/min에서  $14.85 \pm 1.99$  L/min으로 증가되는 경향을 보였다(Fig. 1).

하지 운동 프로그램 전후, 하지 사이클 운동 검사시의 분당 산소 섭취량은  $556.97 \pm 61.74$  L/min에서  $747.33 \pm 107.94$  L/min, 분당 이산화탄소 생성량은  $443.24 \pm 50.48$  L/min에서  $590.82 \pm 97.01$  L/min분당 호흡량은  $18.68 \pm 1.31$  L/min에서

Table 1. General Characteristics of Subjects

Group	Arm cycling (n=11)	Leg cycling (n=11)
Age	46.91±6.45	48.91±6.73
Sex (M : F) (No. of subject)	6 : 5	7 : 4
Height (cm)	163.18±2.94	163.36±3.02
Weight (kg)	60.73±4.05	63.55±5.86
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	22.59±0.97	23.51±1.88
Systolic BP (mmHg)	129.00±4.59	128.27±4.21
Diastolic BP (mmHg)	80.82±3.97	79.10±3.98
Heart rate (bpm)	78.00±3.58	79.45±3.70
MMSE	27.91±0.78	27.55±0.96
FIM	113.45±3.86	107.18±8.17
FIM (Locomotion; L. Walk)	5.91±0.37	6.09±0.37
MBI	89.09±3.38	90.27±5.07
MBI (Ambulation)	14.45±0.37	14.45±0.37
Walking ability (No. of subject)		
Household ambulator	6	6
Limited community ambulator	5	5

Values are mean±S.E.

BMI: Body mass index, BP: Blood pressure, bpm: Beats per minute, MMSE: Mini-mental state examination, FIM: Functional independence measure, MBI: Modified Barthel index

Table 2. Energy Expenditure during Cycling Test

	Arm cycling		Leg cycling	
	Pre	Post	Pre	Post
VO <sub>2</sub> (L/min)	585.00±41.31	622.33±30.38	556.97±61.74	747.33±107.94*
VCO <sub>2</sub> (L/min)	472.18±42.43	553.76±64.78*	443.24±50.48	590.82±97.01*
VE (L/min)	18.83±1.31	24.70±1.80*	18.68±1.31	22.98±2.32*
O <sub>2</sub> rate (ml/kg · min)	9.80±0.67	9.98±0.60	8.47±0.77	11.43±1.50*
O <sub>2</sub> pulse (L/bpm)	5.81±0.41	6.55±0.42*	5.77±0.83	7.33±0.93*

Values are mean±S.E.

\* $p < 0.05$  by Wilcoxon signed ranks test: Compared to pre-training period

22.98±2.32 L/min, 산소 소모율은 8.47±0.77 ml/kg · min에서 11.43±1.50 ml/kg · min, 심박 당 산소 소모량은 5.77±0.83 L/beat에서 7.33±0.93 L/beat으로 모든 지표에서 유의하게 증

가되었다(p<0.05)(Table 2). 또한 최대 산소 소모량도 치료 전 13.24±1.20 L/min에서 훈련 후 18.00±1.97 L/min으로 통계적으로 유의하게 증가되었다(p<0.05)(Fig. 1).

3) 보행 검사시 에너지 소모량 평가

상지 사이클 운동 프로그램 후, 보행 검사시의 분당 산소 섭취량, 분당 이산화탄소 생성량 및 분당 호흡량은 유의한 변화를 보이지 않았다. 한편 산소 소모율은 9.69±0.68 ml/kg · min에서 8.72±0.74 ml/kg · min, 산소 소모비는 0.37±0.03 ml/kg · m에서 0.31±0.03 ml/kg · m으로 감소되었으나, 상기 지표들 모두 통계적으로 유의한 변화를 보이지 않았다(p>0.05)(Table 3). 또한 각 대상자를 살펴보았을 때, 총 9명 중 7명(77.8%)에서 산소 소모비가 감소되었으나, 2명(22.2%)에서는 오히려 산소 소모비가 증가된 소견을 보였다.

하지 사이클 운동 프로그램 전후, 보행 검사시의 분당 산소 섭취량은 602.67±42.53 L/min에서 705.29±59.87 L/min, 분당 이산화탄소 생성량은 446.29±27.88 L/min에서 524.21±34.18 L/min, 분당 호흡량은 17.42±0.60 L/min에서 20.38±0.81 L/min, 산소 소모율도 8.50±0.47 ml/kg · min에서 10.05±

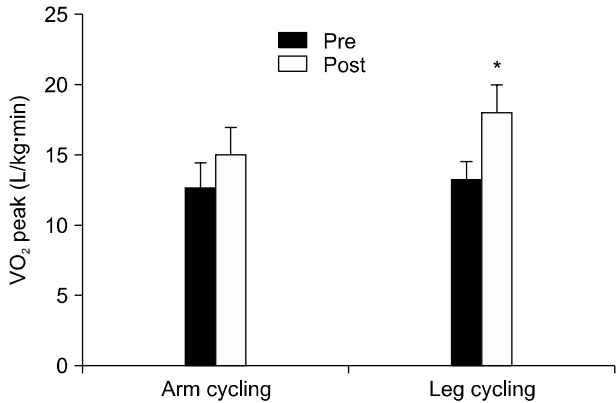


Fig. 1. VO<sub>2</sub> peak defined as cardiorespiratory fitness during cycling test. Leg cycling exercise significantly increased VO<sub>2</sub> peak after cycling training whereas arm cycling did not show any significance. \*p<0.05 by Wilcoxon signed ranks test: Compared to pre-training period.

Table 3. Energy Expenditure during Walking Test

	Arm cycling		Leg cycling	
	Pre	Post	Pre	Post
VO <sub>2</sub> (L/min)	557.78±40.09	532.48±34.29	602.67±42.53	705.29±59.87*
VCO <sub>2</sub> (L/min)	459.70±33.82	435.67±42.95	446.29±27.88	524.21±34.18*
VE (L/min)	17.73±1.27	18.69±1.64	17.42±0.60	20.38±0.81*
O <sub>2</sub> rate (ml/kg · min)	9.69±0.68	8.72±0.74	8.50±0.47	10.05±0.79*
O <sub>2</sub> cost (ml/kg · m)	0.37±0.03	0.31±0.03	0.31±0.05	0.26±0.04*

Values are mean±S.E.

\*p<0.05 by Wilcoxon signed ranks test: Compared to pre-training period

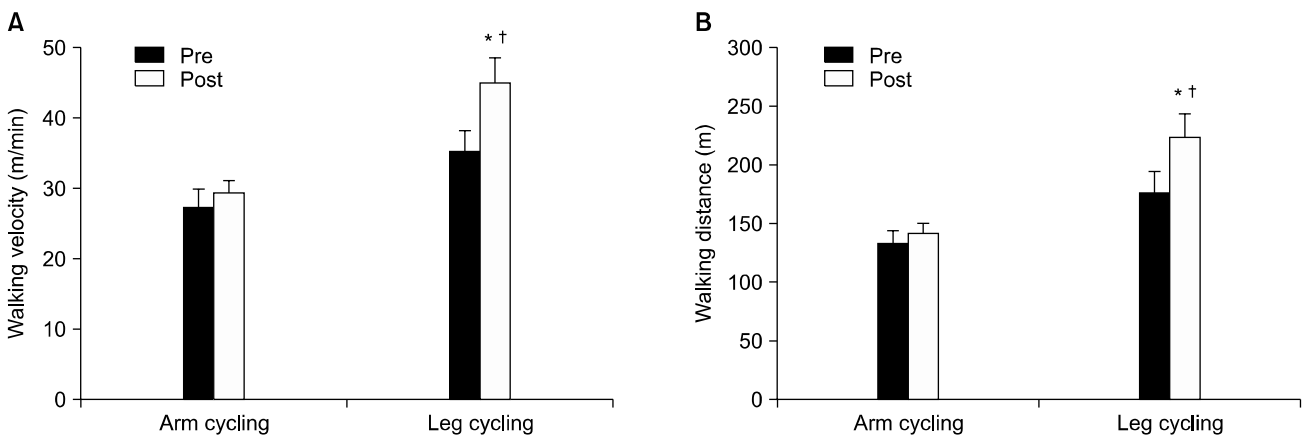


Fig. 2. Walking performance of walking velocity and distance during walking test. Leg cycling exercise significantly improved walking velocity (A) and distance (B) after cycling training whereas arm cycling did not show any significance. \*p<0.05 by Wilcoxon signed ranks test: Compared to pre-training period. †p<0.05 by Mann-Whitney U test: Compared to arm cycling.

0.79 ml/kg · min으로 유의하게 증가되었다( $p < 0.05$ ). 한편 산소 소모비는 총 9명의 대상자 모두에서 감소되어, 치료 전  $0.31 \pm 0.05$  ml/kg · m에서 훈련 후  $0.26 \pm 0.04$  ml/kg · m으로 유의하게 감소되었다( $p < 0.05$  by Wilcoxon signed ranks test) (Table 3).

#### 4) 상지 및 하지 사이클 운동에 의한 보행 능력 변화

상지 사이클 운동군에서 운동 프로그램 전후, 보행 속도는  $28.58 \pm 2.38$  m/min에서  $30.51 \pm 1.87$  m/min으로 증가되었고, 보행 거리도  $133.11 \pm 13.37$  m에서  $141.44 \pm 11.27$  m로 증가되었으나, 상기 지표들은 통계적으로 유의한 변화를 보이지는 않았다( $p > 0.05$ ). 그러나, 하지 사이클 운동군에서는 운동 프로그램 전후, 보행 속도는  $36.65 \pm 3.24$  m/min에서  $46.86 \pm 3.63$  m/min으로 유의하게 증가되었으며, 보행 거리도  $176.75 \pm 17.46$  m에서  $223.25 \pm 19.37$  m로 통계학적으로 유의하게 증가되었다( $p < 0.05$  by Wilcoxon signed ranks test) (Fig. 2).

#### 5) 상지 및 하지 사이클 운동군 두 군간의 비교

상지 사이클 운동군과 하지 사이클 운동군의 에너지 소모량 및 보행 능력 지표를 서로 비교하였을 때, 치료 전에는 두 군 간에 의미 있는 차이가 없었다( $p > 0.05$ ). 또한 운동 프로그램 후 사이클 운동 검사 시의 분당 산소 섭취량, 분당 이산화탄소 생성량, 분당 호흡량, 산소 소모율, 심박 당 산소 소모량, 최대 산소 소모량 등의 모든 지표에서 두 군간에 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 보행 검사 시의 분당 산소 섭취량, 분당 이산화탄소 생성량, 분당 호흡량, 산소 소모율, 산소 소모비 등도 두 군간에 유의한 차이를 보이지 않았다( $p > 0.05$ ). 그러나, 하지 사이클 운동군에서 운동 프로그램 후, 보행 속도 및 보행 거리가 상지 사이클 운동군에 비해 통계학적으로 유의하게 증가되었다( $p < 0.05$  by Mann-Whitney U test) (Fig. 2).

## 고 찰

뇌졸중, 외상성 뇌손상, 뇌성마비, 파킨슨 병 등의 뇌신경계 질환 환자에서 보행 장애는 대표적인 증상으로, 이로 인해 신체 활동 및 컨디션 저하(deconditioning)가 발생하여 피로, 지구력 저하, 기립성 저혈압, 우울증, 심폐기능 저하, 관절 구축, 신체기능 장애 등을 더욱 야기할 수 있다. 따라서 중추신경계 질환 환자에서 보행 장애의 개선은 재활 치료의 우선적인 최대 관심사이기도 하다.<sup>19</sup> 이러한 보행 장애를 개선하기 위해 보행 훈련을 포함한 재활 치료는 운동의 효과를 고려하여 그 목적에 따라 처방되어야 한다. 일반적으로 운동 처방시 고려되어야 할 부분으로 적절한 운동 강도, 시간, 빈도, 기간 뿐만 아니라 운동 특이성의 원리가 반드시 고려되어야 한다.

운동 특이성의 원리란 운동 종류의 특성에 맞는 특이성

이 존재하며, 이에 부합되는 훈련이 이루어져야 최상의 효과를 기대할 수 있다는 것이다. 예를 들어 심폐 체력과 같은 유산소 능력은 적절한 유산소 운동을 통해 향상되고, 근력은 저항 운동(resistive exercise)에 의해 강화되며, 보행 능력은 반복적인 특이적 보행 훈련(repetitive task-specific gait training)을 통해 보다 향상될 수 있다. 즉, 훈련의 최대 효과는 동일하거나 유사한 운동 형태를 수행할 때 얻어질 수 있는데, 주로 일반인 또는 스포츠 선수의 운동 처방을 위해 그 원리가 밝혀진 운동 특이성에 대한 훈련 효과는 최근 뇌신경계 질환 장애인에 대한 재활치료 처방 시에도 고려되고 있으며, 이에 대한 많은 연구가 보고되고 있다.<sup>15,20-22</sup>

그러나 중추신경계 질환 환자는 동적인 보행 균형 감각이 저하되어 있거나, 근력 약화, 관절 통증 등으로 인해 독립적인 보행 및 달리기 등이 어려운 경우가 많으므로, 트레드밀 운동과 같은 반복적인 보행 훈련이 불가능한 경우가 많다.<sup>9</sup> 따라서 본 연구에서는 뇌신경계 질환 환자를 대상으로 상지 및 하지 사이클 운동의 두 운동 방법에 따른 유산소 능력 및 보행 기능을 확인한 결과, 상지 사이클 운동에 의해서는 심박 당 산소 소모율이 증가되었지만 최대 산소 소모량 및 보행 능력을 향상시키지 못했다. 그러나 하지 사이클 운동은 최대 산소 소모량 뿐만 아니라 보행 속도, 보행 거리 및 보행 시 에너지 효율성 등이 모두 향상되었다. 즉, 하지 사이클 운동이 상지 운동에 비해 특이적으로 보행 기능이 향상되도록 기여하므로, 트레드밀 운동 및 독립적 보행 훈련에 장애가 있는 뇌신경계 질환 환자에게 보다 적합한 운동 방법임을 확인하였다. 특히 각 대상자의 보행 시 산소 소모비를 살펴보았을 때, 상지 사이클 운동군에서는 대상자의 71.4%에서 산소 소모비가 감소하였고, 대상자의 28.6%에서는 오히려 증가한 반면, 하지 사이클 운동 프로그램 후에는 대상자 모두에서 산소 소모비가 감소하여, 하지 사이클 운동이 특이적으로 보행 시 에너지 효율성을 향상시켰음을 알 수 있었다.

본 연구의 제한점으로 각 군당 2명의 환자에서 최소 3분 이상의 독립적인 보행이 불가능하여 보행 검사시 에너지 소모량 평가에 대한 결과가 제외되었으므로, 상기 환자의 결과가 사이클 운동 검사시 에너지 소모량의 평가에는 포함되었지만, 보행 검사시 에너지 소모량 평가에는 포함되지 못해 통계학적인 결과가 달라질 수 있었다. 그러나 탈락자를 제외한 데이터로 사이클 운동 검사시 에너지 소모량 평가 결과를 운동 프로그램 전후로 비교 분석하였을 때, 본 연구에서의 통계 결과와 차이가 없었다. 또한 비록 본 연구에서는 각 군간의 질환 분포로 뇌졸중, 외상성 뇌손상, 뇌종양, 파킨슨 병, 뇌성마비 등이 동일한 대상자 수로 구성되었지만, 연구 대상자가 여러 질환으로 다양하게 구성되어 있으므로 각 군간의 유산소 운동 효과를 동일한 성격의 대상자들로 비교한 연구가 되지 않았다. 즉, 훈련 대상의 개별성 및 이에 적절한 운동 처방이 반드시 고려되어야 할 점이다.

따라서 향후 각 질환의 검사 대상자 수를 보다 늘려서, 동일한 질환 또는 동일한 보행 능력 수준으로 구성된 대상자에서 사이클 운동의 효과를 확인해야 할 것이다. 이외에도 기존의 보고<sup>23</sup>와 같이 유산소 운동이 뇌신경 가소성의 활성화, 인지기능 향상, 우울 증상 호전, 만족감 및 사회적응력 증가 등의 이차적인 효과가 있는지도 확인해야 하며, 수지 기능을 포함한 상지 기능을 훈련 전후로 평가하여 상지 사이클 운동이 보다 선택적으로 상지 기능의 향상에 관여하는지도 관찰해야 할 것이다.

## 결 론

보행 장애를 호소하는 총 22명의 뇌신경계 질환 환자에서 상지 또는 하지 사이클 운동을 통해 보행 능력 및 에너지 소모율을 평가한 결과, 하지 사이클 운동에 의해서만 보행 속도, 보행 거리 및 최대 산소 소모량이 유의하게 증가하였고, 보행 시 산소 소모비가 유의하게 감소하였다. 이러한 소견은 향후 독립적인 보행이 어려운 재활 환자들의 보행 기능 향상을 위해 어떤 방법의 운동을 선택할 지에 대한 임상적 판단의 방향을 제시하였다.

## 참 고 문 헌

- 1) Pang M, Eng J, Dawson AS, Gylfadóttir S. The use of aerobic exercise training in improving aerobic capacity in individuals with stroke: a meta-analysis. *Clin Rehabil* 2006; 20: 97-111
- 2) Potempa K, Lopez M, Braun L, Szidon P, Fogg L, Tincknell T. Physiological outcomes of aerobic exercise training in hemiparetic stroke patients. *Stroke* 1995; 26: 101-105
- 3) Macko R, Ivey F, Forrester L, Hanley D, Sorkin J, Katzell L, Silver K, Goldberg A. Treadmill exercise rehabilitation improves ambulatory function and cardiovascular fitness in patients with chronic stroke: a randomized controlled trial. *Stroke* 2005; 36: 2206-2211
- 4) Luft A, Macko R, Forrester L, Villagra F, Ivey F, Sorkin J, Whittall J, McCombe-Waller S, Katzell L, Goldberg A, et al. Treadmill exercise activates subcortical neural networks and improves walking after stroke: a randomized controlled trial. *Stroke* 2008; 39: 3341-3350
- 5) Ploughman M, McCarthy J, Bosse M, Sullivan H, Corbett D. Does treadmill exercise improve performance of cognitive or upper-extremity tasks in people with chronic stroke? A randomized cross-over trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2008; 89: 2041-2047
- 6) Mossberg K, Orlander E, Norcross J. Cardiorespiratory capacity after weight-supported treadmill training in patients with traumatic brain injury. *Phys Ther* 2008; 88: 77-87
- 7) Fisher B, Wu A, Salem G, Song J, Lin C, Yip J, Cen S, Gorden J, Jakowec M, Petzinger G. The effect of exercise training in improving motor performance and corticomotor excitability in people with early Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil* 2008; 89: 1221-1229
- 8) Kurtais Y, Kutlay S, Tur B, Gok H, Akbostanci C. Does treadmill training improve lower-extremity tasks in Parkinson disease? A randomized controlled trial. *Clin J Sport Med* 2008; 18: 289-291
- 9) Pang M, Eng J, Dawson A. Relationship between ambulatory capacity and cardiorespiratory fitness in chronic stroke. *Chest* 2005; 127: 495-501
- 10) Michal K, Shochina M. Early cycling test as a predictor of walking performance in stroke patients. *Physiother Res Int* 2005; 10: 1-9
- 11) Katz-Leurer M, Sender I, Keren O, Dvir Z. The influence of early cycling training on balance in stroke patients at the subacute stage. *Clin Rehabil* 2006; 20: 398-405
- 12) Billinger S, Loudon J, Gajewski B. Validity of a total body recumbent stepper exercise test to assess cardiorespiratory fitness. *J Strength Cond Res* 2008; 22: 1556-1562
- 13) Billinger S, Tseng B, Kluding P. Modified total-body recumbent stepper exercise test for assessing peak oxygen consumption in people with chronic stroke. *Phys Ther* 2008; 88: 1188-1195
- 14) Moseley A, Stark A, Cameron I, Pollock A. Treadmill training and body weight support for walking after stroke. *Cochrane Database Syst Rev* 2005; 19: 1-14
- 15) Sullivan K, Brown D, Klassen T, Mulroy S, Ge T, Azen SP, Winstein CJ. Effects of task-specific locomotor and strength training in adults who were ambulatory after stroke: results of the STEPS randomized clinical trial. *Phys Ther* 2007; 87: 1580-1602
- 16) Kang JY, Chun MH, Lee KG, Park EJ, Lee HY, Jin YS, Lee YT. The effects of arm ergometry exercise in acute stroke patients. *J Korean Acad Rehab Med* 2007; 31: 655-660
- 17) Olivier N, Legrand R, Rogez J, Berthoin S, Prieur F, Weissland T. One-leg cycling versus arm cranking: which is most appropriate for physical conditioning after knee surgery? *Arch Phys Med Rehabil* 2008; 89: 508-512
- 18) Pogliaghi S, Terziotti P, Cevese A, Balestreri F, Schena F. Adaptations to endurance training in the healthy elderly: arm cranking versus leg cycling. *Eur J Appl Physiol* 2006; 97: 723-731
- 19) Dickstein R. Rehabilitation of gait speed after stroke: a critical review of intervention approaches. *Neurorehabil Neural Repair* 2008; 1: 1-12
- 20) Sullivan K, Klassen T, Mulroy S. Combined task-specific training and strengthening effects on locomotor recovery post-stroke: a case study. *J Neurol Phys Ther* 2006; 30: 130-141
- 21) Van de Port I, Wood-Dauphinee S, Lindeman E, Kwakkel G. Effects of exercise training programs on walking competency after stroke: a systematic review. *Am J Phys Med Rehabil* 2007; 86: 935-951
- 22) Lee MJ, Kilbreath SL, Singh MF, Zeman B, Lord SR,

Raymond J, Davis GM. Comparison of effect of aerobic cycle training and progressive resistance training on walking ability after stroke: a randomized sham exercise-controlled study. J Am Geriatr Soc 2008; 56: 976-985

23) Smith PS, Thompson M. Treadmill training post stroke : are there any secondary benefits? A pilot study. Clin Rehabil 2008; 22: 997-1002

---