

만성 뇌졸중 환자에서 운동 기능 회복에 대한 로봇-보조 보행치료의 효과

성균관대학교 의과대학 재활의학교실, ¹삼성서울병원 재활의학과

정경훈 · 하현근¹ · 신희준¹ · 온석훈 · 성덕현 · 이강우 · 김연희

Effects of Robot-assisted Gait Therapy on Locomotor Recovery in Stroke Patients

Kyung Hoon Jung, M.D., Hyun-Geun Ha, P.T., M.S.¹, Hee Joon Shin, P.T., M.S.¹, Suk Hoon Ohn, M.D., Duk Hyun Sung, M.D., Peter K.W. Lee, M.D. and Yun-Hee Kim, M.D., Ph.D.

Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Sungkyunkwan University School of Medicine, ¹Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Samsung Medical Center

Objective: To investigate the effects of robot-assisted gait therapy on locomotor recovery in hemiparetic patients after stroke.

Method: Twenty five stroke patients were randomly divided into 2 groups. Robotic training group received 30 minutes of robot-assisted gait therapy, 3 times a week for 4 weeks, while control group received conventional gait training with same duration and frequency as robotic group. Outcome was measured using Motricity index, Fugl-Meyer assessment (FMA), function ambulation category, modified motor assessment scale, 10-meter gait speed, isometric torque, Ashworth scale, gait analysis, body tissue composition, and Beck's depression inventory (BDI).

Results: Robotic training group showed significant improvement in motor functions measured by Motricity Index, FMA, 10-meter gait speed, isometric torque of hip compared with the baseline and with those of control group. Ashworth scale of hip, BDI, and muscle mass showed significantly greater improvement in robotic training group than control group. In gait analysis, stride length of unaffected leg demonstrated significant improvement in robotic training group ($p < 0.05$).

Conclusion: The robot-assisted gait therapy with body weight-support is considered to facilitate locomotor recovery of the hemiparetic stroke patient. (*J Korean Acad Rehab Med* 2008; 32: 258-266)

Key Words: Robot-assisted gait therapy, Locomotor recovery, Stroke

서 론

뇌졸중 환자에서 보행 기능의 회복은 재활 치료의 가장 중요한 목표 중 하나이며 환자의 가정이나 직장 복귀에 영향을 미치는 주요 요인이다. 중추 신경계의 손상으로 보행 장애를 보이는 환자에 대한 재활치료에 있어 고전적인 물리치료법은 단절된 동작의 수동적인 훈련이나 보행보조기를 이용한 보행 교육, 치료사에 의한 도수적 감각 자극 등이 주된 치료였다. 그러나 근래에는 환자가 최종 목표로 하는 동작과 최대한 비슷한 운동을 집중적으로 훈련할 수 있도록 환경을 조성함으로써 운동 기술을 학습하게 하는 운동 학습 이론(motor learning concept)에 근거한 치료법들이 강조되고 있다.¹ 작업 특이적 훈련(task-specific training)은 이러한 운동 학습 이론에 근거한 치료법이며 대표적인 예로

체중 탈부하를 이용한 답차 보행훈련(body weight-supported treadmill training)이 있다.² 계통적 분석 연구에서 체중 탈부하 답차 보행훈련은 보행 능력과 운동 기능에서 고전적인 운동 치료와 비교하여 비슷한 효과를 보인다고 보고하였으나³ 여러 무작위대조연구에서 체중 탈부하 답차 보행훈련이 더 효과적이라는 결과가 보고되었다.^{4,7} 또한 운동 학습과 작업 특이적 훈련의 피질 및 척수 조절에 대한 실험 연구들을 보면 작업 특이적 훈련은 고전적인 운동 치료보다 더 효과적이라는 보고가 있다.^{8,9}

체중 탈부하 답차 보행운동은 보행 시 시간적인 측면과 이상적인 운동학(ideal kinematics)에 초점을 두고 정상적인 생리적 보행 양식을 훈련하는데 근거를 두고 있다.¹⁰⁻¹² 그러나 보행 장애가 있는 환자에게 정상 보행 양식을 모방하여 안전한 보행훈련을 반복적으로 실시하기 위해서는 세 명 정도의 숙련된 물리치료사가 필요하며 치료사의 과중한 육체적 노력을 필요로 한다. 더구나 근력 약화가 중증이거나 불수의적인 운동이 있는 환자에게는 도수적 보행 훈련을 실시하는 것이 거의 불가능하다. 이러한 치료사의 육체적 노력과 시간을 줄이고 보행 운동학의 반복적 재연성을 개선하며 보행 운동 시간을 증가시킬 수 있는 방법으로 최근

접수일: 2007년 12월 28일, 게재승인일: 2008년 3월 10일
교신저자: 김연희, 서울시 강남구 일원동 50번지
☎ 135-710, 삼성서울병원 재활의학과
Tel: 02-3410-2824, Fax: 02-3410-0388
E-mail: yunkim@skku.edu

보행훈련을 보조해주는 로봇 장치가 개발되었다.

Lokomat[®] (Hocoma AG, Zurich, Switzerland)은 최초로 개발된 로봇 보행 보조장치(robot-assisted gait orthosis)로 보행 장애가 있는 환자의 답차 보행훈련에 적용되고 있다. 로봇 보행 보조장치는 미리 프로그램된 정상 생리적 보행 양식에 따라 환자의 하지의 움직임을 유도하도록 설계되어 있으며 그 임상적인 효과가 보고되어 있다. 그러나 로봇 보조 치료가 하지 운동기능 회복에 미치는 영향과 장기적인 효과에 대해서는 명확한 연구가 이루어지지 않았다.

본 연구는 뇌졸중 환자에게 로봇 보조 보행장치를 이용한 보행 훈련을 실시하고 고전적인 보행 훈련을 실시한 대조군과 치료 전과 후의 근력 및 운동 기능 및 보행평가 등을 비교하여 체중 탈부하를 이용한 로봇 보조 보행치료의 하지 운동 회복과 보행기능 향상에 대한 효과를 알아보고자 하였다.

연구대상 및 방법

1) 연구 대상

2007년 3월부터 10월까지 본원 재활의학과를 내원한 환자 중 뇌경색이나 뇌출혈 후 편마비와 보행장애를 보이는 환자를 대상으로 하였다. 연구 포함 기준은 만 16세에서 80세의 환자 중 허혈성 또는 출혈성 뇌졸중을 처음 경험하였고 뇌졸중 발생 후 운동마비와 보행장애가 있고 병전 정상 보행이 가능하였으며 뇌졸중 발생 3개월 이상의 만성기 환자로서, 실험을 이해하고 자발적 참여의사를 지니고 있으며 연구 참여에 동의한 환자를 대상으로 하였다. 골절과 같은 하지 체중부하의 금기증이 있거나 피부의 손상이나 욕창이 있는 경우, 조절되지 않는 고혈압이나 기립성 저혈압이 있는 경우, 심혈관 질환이나 심부전, 악성 질환, 폐질환, 신경계 질환 등 로봇 보행 치료를 견딜 수 없는 기타 기저 질환이 있는 경우는 연구에서 제외하였다. 연구 기간 중 환자들이 원하거나 필요한 경우 작업 치료나 언어 치료, 인지 치료를 받는 것을 허용하였다.

연구 포함 기준에 부합하는 환자를 대상으로 연구와 관련이 없는 사람이 밀봉된 봉투를 이용하여 random permuted block design을 사용, block size는 4명으로 하여 실험군과 대조군으로 나누어 로봇 보행훈련 또는 고식적 보행훈련을 각각 시행하였다.

2) 연구 방법

로봇 보행훈련군은 Lokomat[®] (Hocoma AG, Zurich, Switzerland)을 사용하여 보행훈련을 받았다. Lokomat[®]은 자세 제어용 로봇 보행 보조장치와 체중 부하 장치로 구성되어 있으며 Woodway treadmill (Woodway GmbH, Weil am Rhein, Germany)과 연동하여 작동된다. 로봇 보행훈련 과정은 다음과 같다. 체중 부하 장치에 부착된 하네스(harness)를 환자

에게 착용하여 환자가 자동 답차 위에 안전하게 설 수 있도록 지지를 하며 자세 제어 장치는 컴퓨터로 제어되는 로봇 장비로 환자의 고관절과 슬관절의 위치에 맞도록 착용하여 보행 속도에 맞추어 관절 운동을 조절하도록 고안되어 있다. 체중 부하 장치 및 로봇 보행 장치로 환자를 들어 올린 상태에서 자동 답차가 작동을 하면 환자를 답차로 내리고 정상 생리적 보행 양식에 맞게 프로그램된 로봇 보조 보행이 시작된다(Fig. 1). 보행 양상에 따라 치료사가 컴퓨터로 답차의 속도와 관절 운동 속도 및 각도를 적절하게 조절할 수 있으며 체중 부하 장치에서 체중 탈부하 정도를 조절할 수 있다. 고관절과 슬관절의 로봇 보행 보조장치의 유도 우력(guidance torque)은 훈련 초기에 100%에서 시작하여 환자의 내성에 따라 60%까지 감소시켰다. 유도 우력 퍼센트가 감소할수록 환자의 능동적 운동을 필요로 한다. 답차의 보행 속도는 훈련 초기에 1.2 km/hr에서 2.6 km/hr까지 증가시켰고 체중 탈부하는 훈련초기에 40%에서 환자의 내성에 따라 10%까지 감소시켰다. 모든 조절 지표들은 환자의 근력, 보행 능력의 호전에 따라 점진적으로 조절하였다. 로봇 보행훈련 시간은 하루 45분이었으나 장치를 착용하며 컴퓨터를 조절하는 시간을 제외한 실제 훈련 시간은 하루 30분이었으며 4주간 주 3회, 총 12회 시행하였다.

대조군은 하루 30분, 4주간 주 3회, 총 12회의 고전적 보행훈련을 받았다. 고전적 보행훈련은 보바스와 같은 신경생리학적 이론에 기초한 운동 훈련으로 이루어졌으며¹³ 치료사에 의한 경직과 협동 운동의 억제, 앉거나 선 자세에서의 운동 훈련 등이 포함되며 도수적인 정상 운동 패턴의 촉진에 의한 지상 보행훈련 및 균형훈련, 마비측 하지의 체중 부하 훈련 등을 실시하였다. 로봇 보행훈련군에서 치료 시간의 대부분이 보행훈련이므로 고전 보행훈련군도 치료

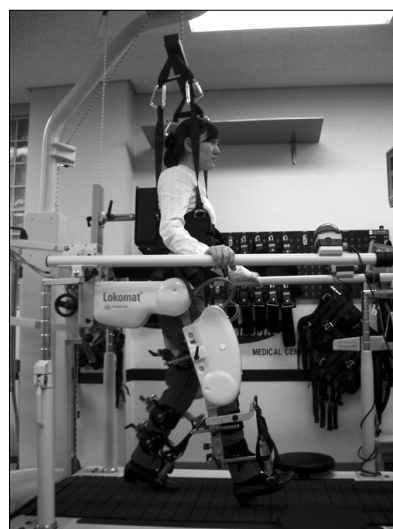


Fig. 1. Robot-assisted gait training using Lokomat[®].

사의 촉진 및 구두 자세에 따른 지상 보행훈련을 위주로 치료를 실시하였다.

두 군에서 보행 훈련 전, 후 및 1개월 후에 운동기능 검사, 일상생활동작 수행 검사, 경직 검사, 신체조직구성(body tissue composition) 검사, 우울증 자가평가 및 보행분석 검사를 실시하였다. 운동기능 검사는 하지 근력을 도수 측정하여 1~100점 체계로 평가한 motricity index (MI), 하지 근력의 회복단계에 따라 0~34점 체계로 평가한 Fugl-Meyer assessment (FMA), 운동 기능에 대한 평가 중 상지 부분을 제외하고 0~36점 체계로 평가한 modified motor assessment scale (MMAS), 보행 시 조력이 필요한 정도에 따라 0~5로 구분하여 평가한 functional ambulation category (FAC), Locomat[®] driven gait orthosis가 갖추고 있는 검사 프로그램으로 측정된 등척성 우력(isometric torque), 평지에서 10-meter 보

행을 하여 속도를 측정한 10-meter 보행속도로 이루어져 있다. 10-meter 보행속도 측정 시에는 필요할 경우 보행 보조 기구나 치료사의 지지를 받았다. 일상생활동작 수행 검사는 일상생활동작의 독립적 수행 정도에 따라 0~100점 기록 체계로 평가한 modified Barthel index (MBI)를 이용하였다. 경직 검사는 하지의 고관절, 슬관절 및 족관절의 경직 정도에 따라 1~5로 구분하여 평가한 Ashworth scale을 이용하였다. 신체조직구성 검사는 Inbody720[®] (Biospace Co. Ltd, Seoul, Korea)을 이용하여 체중, 근육량, 체지방량을 측정하였고 Beck's depression inventory를 사용하여 우울증 자가평가를 실시하였다. 그리고 5개의 적외선 카메라를 갖춘 Vicon 612 motion analysis system[®] (Oxford Metrics Ltd, Oxford, UK)을 사용, 보행분석을 실시하여 보행 지표들을 측정하였다. 각 군에서 훈련 전의 평가 결과와 훈련 후 및 1개월 후의 평가 결과를 비교하였고 두 군이 모두 호전될 가능성이 있으므로 평가 기간 동안 호전된 정도를 두 군 간 비교하여 호전 정도의 차이가 있는 지 검정하였다. 각 치료 실시 후에는 통증 여부, 피부 상태, 근골격계 손상 등 부작용 여부를 파악하였고, 치료에 대한 만족도를 조사하였다.

두 군에서 훈련 전, 훈련 직후와 훈련 종료 1개월 후에 실시한 각각의 평가에 대한 점수를 변수로 하여 Kolmogorov-Smirnov test를 시행하여 정규분포 여부를 검정하였다. 두 군의 훈련 전 평가 점수를 비교하기 위해 independent t-test를 사용하였으며 각 군에서 훈련 전의 평가와 훈련 직후, 1개월 후의 평가를 비교하기 위해 paired t-test with Bonferroni's correction을 사용하였다. 각 군에서 훈련 전과 후, 훈련 전과 1개월 후의 평가 점수의 차를 계산하여 각 기간

Table 1. Characteristics of Patients in Robotic Training and Control Group

Group (n)	Robotic group (17)	Control group (8)
Male (%)	9 (53.9)	4 (50.0)
Female (%)	8 (47.1)	4 (50.0)
Age, mean (years)*	48.8±15.4	54.8±16.4
Diagnosis	Infarct=12; Hemorrhage=5	Infarct=6; Hemorrhage=2
Affected side	Right=9; Left=8	Right=4; Left=4
Duration (months)*	21.6±22.8	28.5±12.1

*Values are mean±standard deviation.

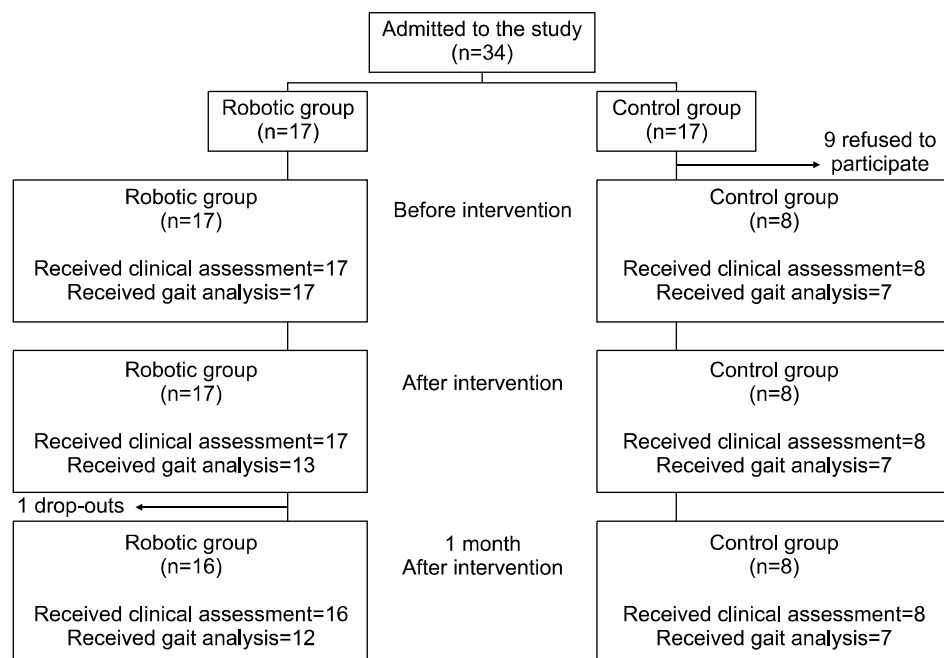


Fig. 2. Flow diagram describing participation in the stages of the study.

동안의 평가 점수의 변화량을 구하였고, 이 변화량을 변수로 하여 independent t-test with Bonferroni's correction를 사용하여 각 기간 동안의 호전 정도를 두 군 간 비교하였다. 모든 통계분석은 Window SPSS version 15를 이용하였으며 통계적 유의 수준은 $p < 0.05$ 로 하였다.

결 과

환자 선정 기준에 부합하는 34명의 환자를 대상으로 하였으나 고전 보행훈련군으로 배정된 17명의 환자 중 9명이 연구에 참가하지 않아 로봇 보행훈련군 17명과 고전 보행훈련군 8명을 대상으로 연구를 시행하였다(Table 1). 모든 환자가 훈련 전, 후에 임상 평가를 받았으나 훈련 1개월 후에 로봇 보행훈련군의 환자 1명이 임상 평가를 받지 않았다. 대조군은 전원이 모든 임상평가를 받았다. 모든 환자가 훈련 전 보행분석 검사를 받았으며 훈련 후와 1개월 후에 로봇 보행훈련군의 환자 14명과 대조군의 환자 7명이 보행분석 검사를 받았다(Fig. 2). 연구에 참가한 환자 중 근골격계 및 피부에 특별한 신체적 부작용이 발생된 경우나 현기증 등 신경계 부작용이 발생된 환자는 전혀 없었다.

1) 임상 지표의 변화 비교

두 군의 훈련 전 평가의 비교 상 고관절의 Ashworth scale에서만 로봇 보행훈련군이 고전 보행훈련군에 비해 유의한 차이를 보였으며 나머지 임상 지표에서는 두 군 간 유의한 차이가 관찰되지 않았다(Table 2).

각 군에서 평가의 비교 상 로봇 보행훈련군은 훈련 전과 비교하여 고관절 신근의 등척성 우력과 신체조직구성 검사 중 근육량에서 훈련 직후 유의한 호전을 보였고 MI, FMA, MMAS, 10-meter gait speed, 고관절 굴근의 등척성 우력, 고관절의 Ashworth scale, Beck's depression inventory에서 훈련 직후 및 1개월 후에 유의한 호전을 보였으며 FAC에서 훈련 1개월 후에 유의한 호전을 보였다($p < 0.05$). 고전 보행훈련군은 MI와 FMA에서 훈련 전과 비교하여 훈련 1개월 후에 유의한 호전을 보였다($p < 0.05$)(Fig. 3)(Table 2).

훈련 후 평가 기간 동안 두 군의 호전 정도를 군 간 비교하였을 때 로봇 보행군이 MI, FMA, 10-meter 보행속도, 고관절 굴근과 신근의 등척성 우력, 근육량에서 훈련 직후 대조군에 비해 유의한 호전을 보였고 고관절의 Ashworth scale, Beck's depression inventory에서 훈련 직후와 1개월 후에 대조군에 비해 유의한 호전을 보였다($p < 0.05$)(Fig. 4)(Table 2).

Table 2. Assessment of Motor Function, Spasticity, Body Tissue Compositions and Mood State before and after Intervention

	Treatment group			Control group		
	Before	After	1 month	Before	After	1 month
MI	60.3±13.3	64.8±15.8*	65.1±15.4*	57.7±11.1	58.4±10.5	60.9±11.5*
FMA	21.4±5.5	24.0±5.8*	23.7±6.0*	21.0±4.8	21.4±5.0	22.6±4.9*
MMAS	31.4±2.7	31.9±2.6*	32.1±2.3*	31.9±2.3	31.9±1.9	32.1±1.6
10-meter gait speed	17.4±8.8	14.7±7.7*	14.8±8.7*	16.8±9.4	16.7±9.6	14.2±8.4
Isometric torque						
Hip flexor	50.1±34.2	62.6±38.7*	62.2±35.9*	35.2±14.3	34.0±14.2	37.4±14.3
Hip extensor	47.4±41.1	60.3±46.4*	54.5±43.3	36.7±18.8	32.9±18.2	36.6±20.4
Knee flexor	22.5±22.4	27.5±28.5*	26.2±28.5	11.3±9.3	12.2±7.3	15.8±10.8
Knee extensor	43.9±31.0	51.0±36.1	49.0±33.3	27.1±11.6	27.8±9.7	30.7±13.7
Ashworth Scale						
Hip	1.2±0.8 [†]	0.5±0.6*	0.4±0.5*	0.4±0.7	0.5±0.9	0.3±0.5
Knee	1.1±1.1	0.9±1.0	0.8±0.9	0.9±0.8	0.6±0.5	0.6±0.5
Ankle	1.4±1.1	1.1±0.9	1.1±0.8	1.1±1.1	1.1±1.1	1.1±1.0
Body tissue composition						
Body weight	67.5±14.7	67.9±14.5	67.4±14.8	60.6±12.0	60.5±12.0	60.4±11.5
Muscle mass	26.0±6.6	26.6±6.6*	26.4±6.4	22.9±5.3	22.8±5.5	22.9±5.8
Fat mass	19.7±6.1	19.2±6.2	19.0±6.5	17.2±5.9	17.3±6.0	16.9±5.8
FAC	3.9±0.9	4.1±0.9	4.2±0.9*	4.1±0.6	4.1±0.6	4.1±0.6
MBI	90.1±8.9	91.0±8.6	91.0±8.6	94.0±4.7	94.0±4.7	94.0±4.7
Beck's depression inventory	19.1±9.4	14.3±7.8*	14.9±7.1*	22.0±6.5	21.1±6.3	21.6±7.1

Values are mean±standard deviation.

*Statistically significant ($p < 0.05$) in comparison with baseline data (before intervention), [†]Statistically significant ($p < 0.05$) in comparison between robotic training and control group

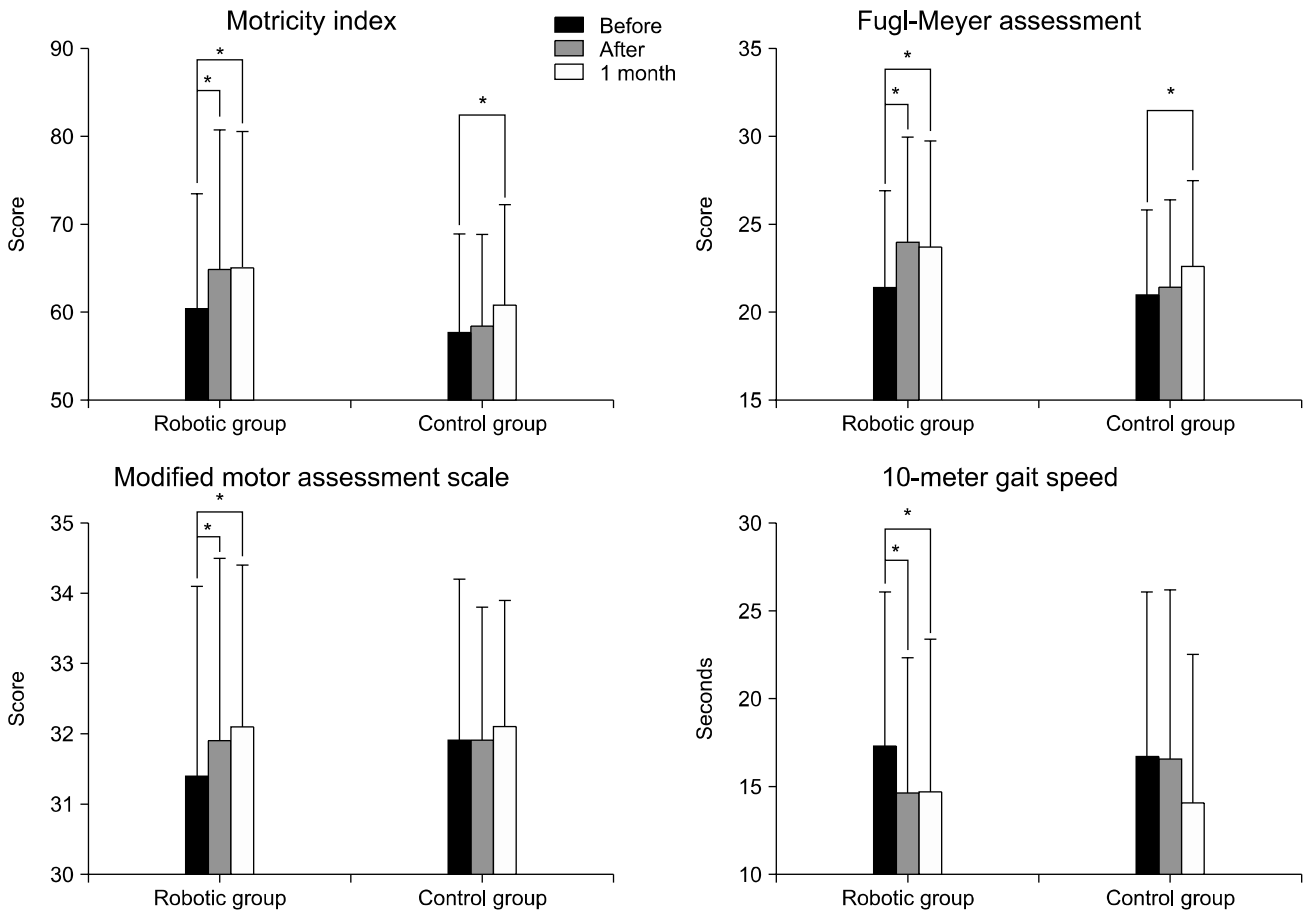


Fig. 3. Assessment of motor functions before and after intervention in robotic training and control group. *p<0.05.

2) 보행 분석검사의 변화 비교

로봇 보행훈련군의 보행 분석검사에서 보행 변수 중 환측과 건측의 양하지 지지기(double support time)가 훈련 전에 비해 훈련 후에 유의하게 감소하였고 환측의 단하지 지지기(single support time), 환측과 건측의 활보장, 환측과 건측의 보장, 환측과 건측의 보행속도가 훈련 전에 비해 훈련 직후 및 1개월 후에 유의하게 호전되었으며 환측의 보 시간(step time)이 훈련 전에 비해 훈련 1개월 후 유의하게 감소하였다(Table 3). 대조군에서는 보행 분석검사 상 보행 변수의 유의한 호전이 관찰되지 않았다.

보행 분석검사 상 두 군의 호전 정도를 군 간 비교하였을 때 로봇 보행군에서 건측의 활보장이 훈련 전에 비해 훈련 후에 대조군에 비해 유의한 호전을 보였다.

고 찰

뇌 손상 후의 회복과정에서 운동 학습의 중요성이 최근 부각되고 있다. 뇌 손상 이후 회복기전으로는 손상된 뇌의 진성 회복(true recovery)과 보상 기전(compensation)이 관여

한다고 알려져 있다.¹⁴ 뇌의 진성 회복은 신경가소성(neuroplasticity)에 의해 손상받지 않은 부분에서 손상된 영역의 기능을 대신하는 뇌의 재조직(reorganization)을 의미하며 보상 기전은 목표하는 동작을 하기 위해 마비가 발생한 근육을 대신하여 다른 근육을 사용하는 것을 의미한다. 뇌의 진성 회복에 따른 대뇌 피질의 변화는 단순한 동작의 반복으로는 발생하지 않으며 새로운 운동 기술의 습득을 통해 유도된다는 보고가 있으며¹⁵ 운동 마비에 대한 보상은 반복적인 운동 학습에 의해 이루어진다. 따라서 뇌 손상 이후의 회복 기전은 운동 학습에 의한 과정이라고 볼 수 있다.¹⁴ 운동 학습에서 중요한 부분은 운동 기술의 습득(motor skill acquisition), 운동 적응(motor adaptation), 운동 결정(decision making) 등이 있고 이에 따른 운동 수행능력은 근본적으로 훈련의 양에 따라 개선된다.¹⁶ 이러한 운동 학습 이론에 근거한 대표적인 보행 치료가 체중 탈부하 답차 보행훈련이다. 일반적으로 체중 탈부하 보행훈련은 양하지의 균형과 안정성 증진, 낙상 공포로 인한 불필요한 근 긴장의 억제, 조기 보행의 경험 제공, 보행 양상의 호전 등의 장점이 있다고 알려져 있다.^{5,7,17} 본 연구에서 사용한 Locomat[®] driven gait orthosis는 이러한 체중 탈부하 보행훈련의 장점을 살리

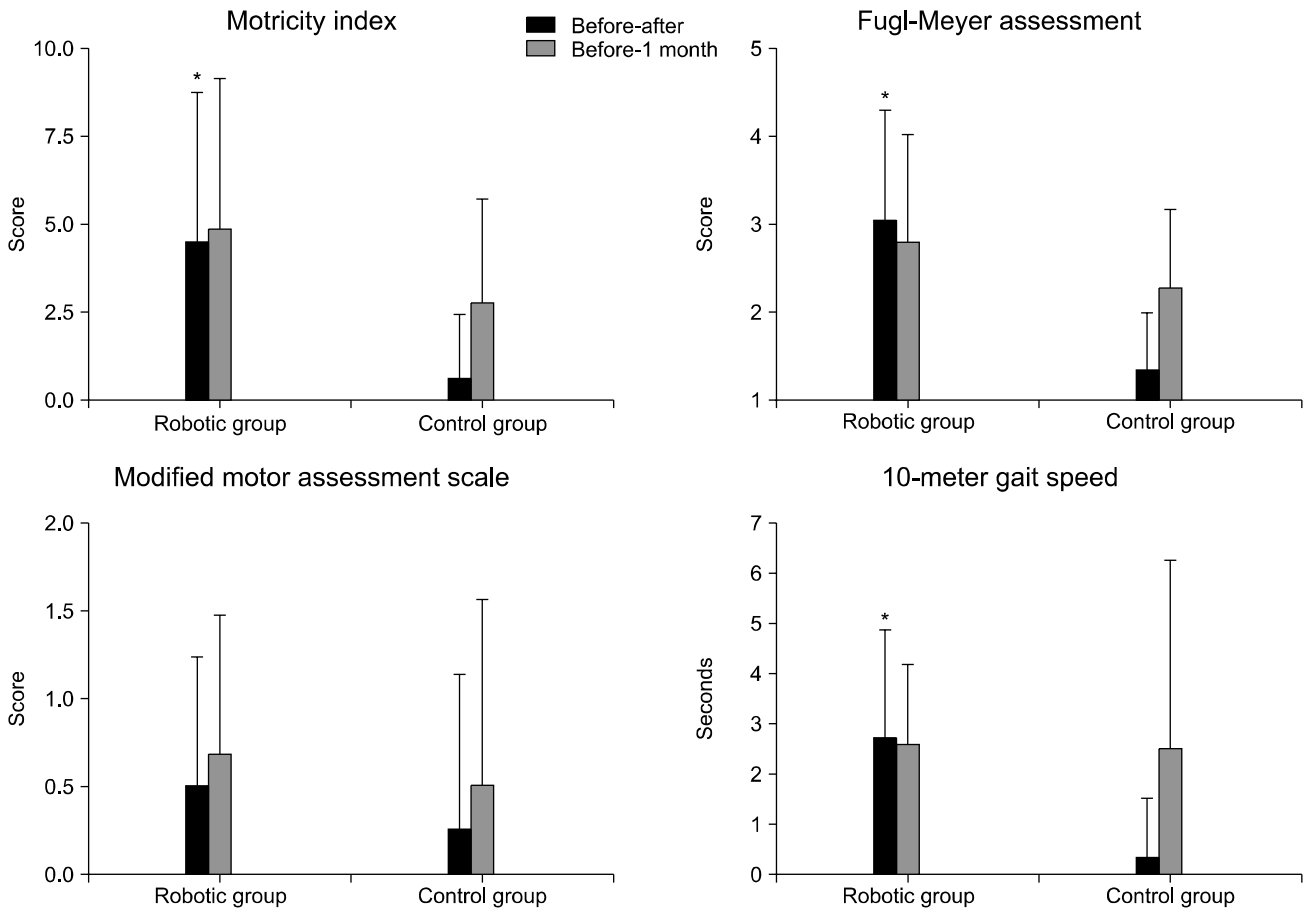


Fig. 4. Comparisons of improvement in motor functions between robotic training and control group. *p<0.05.

Table 3. Assessment of Temporal Gait Parameters before and after Intervention

	Side	Treatment group			Control group		
		Before	After	1 month	Before	After	1 month
Cadence (step/min)	Affected	69.6±15.1	74.9±16.9	77.8±20.5	67.1±27.1	65.2±22.9	63.2±14.7
	Unaffected	70.2±14.4	75.0±17.5	78.2±20.8	61.7±20.1	64.8±23.3	64.6±13.3
Stride time (s)	Affected	1.8±0.4	1.7±0.5	1.7±0.6	2.2±1.0	2.2±1.1	2.0±0.6
	Unaffected	1.8±0.4	1.7±0.6	1.7±0.6	2.1±1.0	2.2±1.2	1.9±0.5
Step time (s)	Affected	1.1±0.4	1.0±0.4	1.0±0.4*	1.2±0.5	1.2±0.7	1.1±0.3
	Unaffected	0.7±0.1	0.7±0.2	0.7±0.4	1.0±0.6	0.9±0.5	0.8±0.2
Stride length (m)	Affected	0.5±0.2	0.7±0.2*	0.7±0.2*	0.7±0.2	0.7±0.2	0.6±0.2
	Unaffected	0.5±0.2	0.7±0.2*	0.7±0.2*	0.7±0.2	0.7±0.2	0.7±0.2
Step length (m)	Affected	0.3±0.1	0.4±0.1*	0.4±0.1*	0.3±0.1	0.4±0.1	0.3±0.1
	Unaffected	0.2±0.1	0.3±0.1*	0.3±0.1*	0.3±0.1	0.3±0.1	0.3±0.1
Single support (%cycle)	Affected	22.9±9.8	28.2±7.2*	27.2±7.5*	25.4±8.3	28.7±7.6	28.7±7.5
	Unaffected	36.9±6.7	40.0±6.1	37.9±7.3	38.3±13.0	37.2±11.2	41.3±6.1
Double support (%cycle)	Affected	39.3±13.1	32.0±12.2*	36.0±13.5	36.4±20.2	32.0±17.8	33.9±13.5
	Unaffected	39.3±12.1	31.7±12.6*	34.5±14.5	36.6±19.3	35.6±18.6	29.8±12.1
Walking speed (m/s)	Affected	0.3±0.1	0.4±0.2	0.5±0.3	0.4±0.2	0.4±0.2	0.3±0.2
	Unaffected	0.3±0.1	0.4±0.2	0.5±0.3	0.4±0.2	0.4±0.2	0.4±0.2

Values are mean±standard deviation.

*Statistically significant (p<0.05) in comparison with baseline data (before intervention)

고 단순한 관절 동작의 훈련 대신 운동 학습 이론에 근거하여 훈련의 최종 목적인 실제 보행과 유사한 환경을 제공하고 집중적으로 반복 훈련을 할 수 있도록 고안된 장치라는 점에서 임상적으로 유용하다 할 수 있다.

본 연구에서 운동기능 평가 상 MI, FMA, 고관절 굴근과 신근의 등척성 우력에서 로봇 보행훈련군이 대조군에 비해 훈련 이후에 유의하게 많은 호전을 나타냈다. Van de Crommert 등은 과거의 여러 연구에서 답차 보행훈련 후 뚜렷한 근력의 증가는 보이지 않는다고 보고하였다.¹⁸ 그러나 Mayr 등은 16명의 뇌졸중 환자에게 Locomat[®] driven gait orthosis를 이용하여 시행한 연구에서 운동기능을 평가한 Rivermead motor assessment scale과 하지의 5개 근육의 근력을 측정하였을 때 고전적 보행훈련에 비해 로봇 보행훈련 후 유의한 호전이 보였다고 보고하였다.¹⁹ 본 연구에서도 MI, FMA, 고관절의 등척성 우력에서 로봇 보행훈련군이 대조군에 비해 유의하게 많은 호전이 보였고 이는 로봇 보행훈련이 하지의 근력 회복에 고전적 보행훈련보다 더 큰 효과가 있음을 의미하며 본 연구에서 시행한 신체조직구성 검사 상 로봇 보행훈련군에서 대조군에 비해 근육량의 유의한 증가가 보였던 점도 이를 뒷받침해준다.

뇌졸중 환자에서 고전적인 보행훈련 후 근육 수축양상 및 환자의 일반적 상태가 호전되더라도 불구하고^{20,21} 이상 보행(deviated gait)이 지속적으로 남아있는 것을 보게 된다.^{22,23} 로봇 보행훈련은 환자의 보행 능력에 맞추어 보장과 보행 속도 등의 보행 변수를 조절할 수 있고 체중 탈부하로 인해 안정적인 입위(upright position)에서 마비측 하지의 지지기를 길게 하여 대칭적인 생리적 보행양식을 반복 재연할 수 있도록 프로그램 되어있다. Husemann 등은 30명의 뇌졸중 환자를 대상으로 Locomat[®] driven gait orthosis를 이용한 보행훈련 후 마비측 하지의 단하지 지지기가 유의하게 증가하였음을 보고하였다.²⁴ 본 연구에서도 로봇 보행훈련 후 보행분석 검사 상 환측의 단하지 지지기의 유의한 증가와 양측의 양하지 지지기의 유의한 감소가 보였다. 그리고 양측 하지의 보장, 활보장, 보행속도 및 건축의 보 시간의 유의한 호전이 보였다. 그러나 대조군에서는 보행 변수의 유의한 호전이 관찰되지 않았다. 보행 변수의 호전 정도를 두 구간 비교하였을 경우 건축의 활보장이 대조군에 비해 유의하게 호전된 것으로 나타났다. 그리고 임상적 보행 지표 중 FAC와 10-meter 보행속도에서 로봇 보행군이 대조군에 비해 유의하게 많은 호전을 보였다. 따라서 로봇 보행훈련으로 보행의 대칭성을 향상시킬 수 있으며 이는 환자의 보행 능력의 향상을 가져온다고 생각한다.

뇌졸중 환자의 보행 장애의 주요 원인 중 하나는 과도한 신장반사(hyperactive stretch reflex)와 경직이다. Husemann 등이 시행한 연구에서 체중 탈부하 로봇 보행치료 후 뇌졸중 환자의 경직 증상의 유의한 호전을 보이지 않았다고 보고하였으나²⁴ Mayr 등이 뇌졸중 환자를 대상으로 시행한 연

구에서는 체중 탈부하 로봇 보행훈련 후 하지의 경직이 유의하게 감소하였다고 보고하였다.¹⁹ 본 연구에서 훈련 전 로봇 보행훈련군과 고전 보행훈련군에서 고관절의 경직이 차이가 있기는 하였지만 훈련 후 로봇 훈련군에서 현저한 고관절 경직의 감소를 보였고 또한 슬관절 및 족관절에서도 경직이 역시 감소하는 경향을 보였다.

불완전 척수손상 환자들에서 체중 탈부하 답차 보행훈련 후 심폐기능의 호전을 보였다는 보고가 있으며 Husemann 등은 뇌졸중 환자를 대상으로 시행한 연구에서 체중 탈부하 로봇 보행훈련 후 근육량의 유의한 증가와 체지방량의 유의한 감소를 보고하였고 이는 체중 탈부하 로봇 보행훈련이 유산소성 대사의 증가와 관련이 있을 것으로 생각하였다. 본 연구에서는 체중 탈부하 로봇 보행훈련 후 대조군에 비해 근육량의 유의한 증가가 보였으며 통계학적인 유의성은 없었지만 로봇 보행훈련군에서 평균 체지방량의 감소가 관찰되어 체중 탈부하 로봇 보행훈련이 유산소 훈련의 효과가 있다는 기존의 연구를 뒷받침하였다(Table 2).

뇌졸중 환자에서 우울증은 가장 흔한 정신의학적 합병증으로 약 20~80%의 유병률이 보고되고 있다.^{25,26} 뇌졸중 후 우울증은 고통(distress)의 증가, 장애의 증가, 불량한 재활치료, 이환율(morbidity) 및 사망률(mortality)의 증가와 관련이 있는 것으로 보고되며 뇌졸중 후 회복을 방해하는 주요 요인 중 하나이다.²⁷ 본 연구에서는 Beck's depression inventory를 이용하여 우울증 자가 평가를 시행하였고 로봇 보행훈련군에서 대조군에 비해 유의한 호전을 보였다. 따라서 로봇 보행훈련이 우울증의 감소와 관련이 있으며 이는 환자들이 로봇 보행훈련을 통해 긍정적인 자아상을 가지게 되고 치료 동기가 유발된 것을 의미하며, 이와 더불어 본 연구에 참여한 환자들은 로봇 보행훈련에 대한 높은 만족도를 보고하였다.

본 연구는 뇌졸중 발생 3개월 후의 환자를 포함 기준으로 하였으며 로봇 보행훈련군 환자들의 뇌졸중 발생 후 평균 기간은 20.8개월로 만성 뇌졸중 환자가 치료 대상이 되었다. 일반적으로 뇌손상 후 자연회복(spontaneous recovery)은 첫 4주간 최고조에 달하며 6개월간 점감하는(taper) 것으로 알려져 있고¹⁴ Jorgensen 등은 뇌졸중 후 중증의 하지마비를 보이는 환자에서 발생 11주 이후에는 보행기능의 호전을 기대하기 어렵다는 보고를 하였다.²⁸ 그러나 Hesse 등이 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 한 연구에서 체중 탈부하 답차 보행훈련 후 보행기능의 호전을 보고하였고⁵ 본 연구에서는 발병 4개월 후의 환자가 한 레 포함되어 자연 회복의 가능성이 있으나 평균 발병 20.8개월의 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 체중 탈부하 로봇 보행훈련을 하였으며 보행기능의 유의한 호전이 관찰되었다. 이러한 결과로 보아 만성 뇌손상에서도 운동 학습에 의한 뇌의 신경가소성 촉진이나 보상 기전을 통해 뇌의 회복기전이 지속되고 있음을 추측할 수 있으며 추후 신경 회복이 진행 중인 아급성기 뇌졸중

환자에서 로봇 보행훈련을 적용한 연구도 필요하리라 생각한다.

체중 탈부하 답차 보행훈련은 보행 관련 감각 입력(sensory inputs)을 촉진하여 운동 기능의 조절을 개선하고 규칙적이며(rhythmic) 상호적인(reciprocal) 보행 양상의 유도를 목표로 한다.²⁹ Winchester 등은 불완전 척수 손상환자들을 대상으로 체중 탈부하 로봇 보행훈련 후 시행한 functional magnetic resonance imaging에서 감각운동피질(S1, S2)과 소뇌에서 활성화의 증가를 보고하였다.³⁰ 뇌졸중 환자의 체중 탈부하 로봇 보행훈련 시에도 보행 관련 감각 입력의 증가로 척추 상방 신경가소성의 촉진을 통한 회복 기전이 관여할 것으로 추정되며 향후 이와 관련된 영상 연구(image study)가 필요할 것으로 생각한다.

본 연구에서는 대상 환자의 수가 25명으로 비교적 적었고 특히 고전 보행훈련군의 경우 탈락자가 많았으며 로봇 보행훈련군에 뇌졸중 발생 4개월 후의 아급성기 환자가 한례 포함되었던 점은 연구의 제한점이라 생각한다. 또한 추적 평가를 1개월까지 시행하였기 때문에 훈련의 장기적인 효과에 대한 평가는 내릴 수 없었고 비록 무작위 배정하였으나 최신 치료방법인 로봇 보행훈련군의 환자가 고전 보행훈련군에 비해 치료에 적극적으로 참여하여 결과에 영향을 미쳤을 가능성도 배제할 수 없었다. 향후 이러한 제한점들을 보완하여 더 많은 환자들을 대상으로 한 체중 탈부하 로봇 답차 보행훈련의 장기적 치료 효과에 대한 추가적인 연구가 이루어져야 할 것으로 생각한다.

결 론

본 연구에서 만성 뇌졸중 환자에게 작업 특이적 체중 탈부하 로봇 보조 보행치료 후 고식적 보행훈련에 비해 운동 기능, 보행 양상, 신체조직구성, 정동에 있어 더 나은 결과를 관찰할 수 있었다. 따라서 체중 탈부하 로봇 답차 보행훈련이 만성 뇌졸중 환자의 하지 운동기능과 보행기능 회복에 새로운 치료적 가능성을 제시할 수 있을 것으로 생각하며 향후 더 많은 환자들을 대상으로 한 무작위대조연구들이 이루어져야 할 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

- 1) Asanuma H, Keller A. Neuronal mechanisms of motor learning in mammals. *Neuroreport* 1991; 2: 217-224
- 2) Richards CL, Malouin F, Wood-Dauphinee S, Williams JI, Bouchard JP, Brunet D. Task-specific physical therapy for optimization of gait recovery in acute stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil* 1993; 74: 612-620
- 3) Moseley AM, Stark A, Cameron ID, Pollock A. Treadmill training and body weight support for walking after stroke. *Cochrane Database Syst Rev* 2005: CD002840

- 4) Barbeau H, Fung J. The role of rehabilitation in the recovery of walking in the neurological population. *Curr Opin Neurol* 2001; 14: 735-740
- 5) Hesse S, Bertelt C, Jahnke MT, Schaffrin A, Baake P, Malezic M, Mauritz KH. Treadmill training with partial body weight support compared with physiotherapy in nonambulatory hemiparetic patients. *Stroke* 1995; 26: 976-981
- 6) Protas EJ, Holmes SA, Qureshy H, Johnson A, Lee D, Sherwood AM. Supported treadmill ambulation training after spinal cord injury: a pilot study. *Arch Phys Med Rehabil* 2001; 82: 825-831
- 7) Visintin M, Barbeau H, Komer-Bitensky N, Mayo NE. A new approach to retrain gait in stroke patients through body weight support and treadmill stimulation. *Stroke* 1998; 29: 1122-1128
- 8) Dietz V, Harkema SJ. Locomotor activity in spinal cord-injured persons. *J Appl Physiol* 2004; 96: 1954-1960
- 9) Van Peppen RP, Kwakkel G, Wood-Dauphinee S, Hendriks HJ, Van der Wees PJ, Dekker J. The impact of physical therapy on functional outcomes after stroke: what's the evidence? *Clin Rehabil* 2004; 18: 833-862
- 10) Behrman AL, Harkema SJ. Locomotor training after human spinal cord injury: a series of case studies. *Phys Ther* 2000; 80: 688-700
- 11) Dobkin BH. Functional rewiring of brain and spinal cord after injury: the three Rs of neural repair and neurological rehabilitation. *Curr Opin Neurol* 2000; 13: 655-659
- 12) Wernig A, Muller S. Laufband locomotion with body weight support improved walking in persons with severe spinal cord injuries. *Paraplegia* 1992; 30: 229-238
- 13) Lennon S, Baxter D, Ashburn A. Physiotherapy based on the Bobath concept in stroke rehabilitation: a survey within the UK. *Disabil Rehabil* 2001; 23: 254-262
- 14) Krakauer JW. Motor learning: its relevance to stroke recovery and neurorehabilitation. *Curr Opin Neurol* 2006; 19: 84-90
- 15) Plautz EJ, Milliken GW, Nudo RJ. Effects of repetitive motor training on movement representations in adult squirrel monkeys: role of use versus learning. *Neurobiol Learn Mem* 2000; 74: 27-55
- 16) Richards CL, Malouin F, Dean C. Gait in stroke: assessment and rehabilitation. *Clin Geriatr Med* 1999; 15: 833-855
- 17) Hesse S, Malezic M, Schaffrin A, Mauritz KH. Restoration of gait by combined treadmill training and multichannel electrical stimulation in non-ambulatory hemiparetic patients. *Scand J Rehabil Med* 1995; 27: 199-204
- 18) Van de Crommert HW, Mulder T, Duysens J. Neural control of locomotion: sensory control of the central pattern generator and its relation to treadmill training. *Gait Posture* 1998; 7: 251-263
- 19) Mayr A, Kofler M, Quirbach E, Matzak H, Frohlich K, Saltuari L. Prospective, blinded, randomized crossover study of gait rehabilitation in stroke patients using the Lokomat gait orthosis. *Neurorehabil Neural Repair* 2007; 21: 307-314

- 20) Dietz V, Quintern J, Berger W. Electrophysiological studies of gait in spasticity and rigidity. Evidence that altered mechanical properties of muscle contribute to hypertonia. *Brain* 1981; 104: 431-449
 - 21) Knutsson E, Richards C. Different types of disturbed motor control in gait of hemiparetic patients. *Brain* 1979; 102: 405-430
 - 22) Barnett ML, Ross D, Schmidt RA, Todd B. Motor skills learning and the specificity of training principle. *Res Q* 1973; 44: 440-447
 - 23) Bensoussan L, Mesure S, Viton JM, Delarque A. Kinematic and kinetic asymmetries in hemiplegic patients' gait initiation patterns. *J Rehabil Med* 2006; 38: 287-294
 - 24) Husemann B, Muller F, Krewer C, Heller S, Koenig E. Effects of locomotion training with assistance of a robot-driven gait orthosis in hemiparetic patients after stroke: a randomized controlled pilot study. *Stroke* 2007; 38: 349-354
 - 25) Carota A, Berney A, Aybek S, Iaria G, Staub F, Ghika-Schmid F, Annable L, Guex P, Bogousslavsky J. A prospective study of predictors of poststroke depression. *Neurology* 2005; 64: 428-433
 - 26) Dieguez S, Staub F, Bruggimann L, Bogousslavsky J. Is post-stroke depression a vascular depression? *J Neurol Sci* 2004; 226: 53-58
 - 27) Whyte EM, Mulsant BH. Post stroke depression: epidemiology, pathophysiology, and biological treatment. *Biol Psychiatry* 2002; 52: 253-264
 - 28) Jorgensen HS, Nakayama H, Raaschou HO, Olsen TS. Recovery of walking function in stroke patients: the Copenhagen Stroke Study. *Arch Phys Med Rehabil* 1995; 76: 27-32
 - 29) Dobkin BH, Apple D, Barbeau H, Basso M, Behrman A, Deforge D, Ditunno J, Dudley G, Elashoff R, Fugate L, et al. Methods for a randomized trial of weight-supported treadmill training versus conventional training for walking during inpatient rehabilitation after incomplete traumatic spinal cord injury. *Neurorehabil Neural Repair* 2003; 17: 153-167
 - 30) Winchester P, McColl R, Query R, Foreman N, Mosby J, Tansey K, Williamson J. Changes in supraspinal activation patterns following robotic locomotor therapy in motor-incomplete spinal cord injury. *Neurorehabil Neural Repair* 2005; 19: 313-324
-