

불완전 척수손상 후의 자동보행훈련

정재훈

국립재활원 재활의학과 물리치료실

Abstract

Auto-Walking Training After Incomplete Spinal Cord Injury

Jeong Jae-hoon, B.H.Sc., P.T.

Dept. of Physical Therapy, Rehabilitation Medicine, National Rehabilitation Center

This study was conducted to assess the effects of the gait training method in incomplete spinal cord injured persons using an auto-walking machine. Persons with incomplete spinal cord injury level C or D on the American Spinal Injury Association impairment scale participated for eight weeks in an auto-walking training program. The gait training program was carried out for 15 minutes, three times per day for 8 weeks with an auto-walking machine. The foot rests of the auto-walking machine can be moved forward, downward, backward and upward to make the gait pattern with fixed on crank. The patient's body weight is supported by a harness during walking training. We evaluated the gait speed, physiologic cost index, motor score of lower extremities and the WISCI (walking index for spinal cord injury) level before the training and after the forth and eighth week of walking training. 1. The mean gait speed was significantly increased from .22 m/s at pre-training to .28 m/s after 4 weeks of training and .31 m/s after 8 weeks of training ($p=.004$). 2. The mean physiologic cost index was decreased from 4.6 beats/min at pre-training to 3.0 beats/min after 4 weeks and 2.0 beats/min after 8 weeks of training, but it was not statistically significant ($p=.140$). 3. The mean motor score of lower extremities was significantly increased from 29.8 to 35.8 after 8 weeks of training ($p=.043$). 4. The mean WISCI level was significantly increased from level 10 to level 19 after 8 weeks of training ($p=.007$). The results of this study suggest that the gait training program using the auto-walking machine increased the gait speed, muscle strength and gait pattern (WISCI level) in persons with incomplete spinal cord injury. A large, controlled study of this technique is warranted.

Key Words: Auto-Walking training; Body weight support; Incomplete spinal cord injury.

I. 서론

척수손상 후에 환자들의 삶의 질에 영향을 미치는 요인은 다양하다. 척수손상 후에 나타나는 증상에는 운동 및 감각 기능의 소실, 대·소변 기능 장애, 성 기능의 장애 등 여러 가지를 들 수 있다. 이들 증상 중, 운동기능의 장애로 야기되는 보행기능의 소실은 척수손상 환자들의 삶의 질에 미치는 영향이 대·소변 기능이나 성 기능보다 상위를 차지한다고 보고되어 있다(Fraser, 1999). 대다수의 불완전 척수손상 환자들은 걸을 수 있는 잠재력을 갖고 있다(Alander 등, 1997; Burns 등, 1997; Crozier 등, 1991; Crozier 등, 1992; Penrod 등, 1990; Waters 등, 1994). 특히, Burns 등(1997)은 불완전 척수손상 환자의 86%가 보행 기능을 회복할 수 있다고 보고하였다.

일반적으로 척수손상 환자들의 보행훈련을 위해서는 장하지 또는 단하지 보조기를 착용하고, 보행기, 목발, 지팡이 등의 보조기구 등을 이용하여 실시하였다. 하지만, 최근에 와서 보행기능을 증진시키기 위해 불완전 척수손상 환자를 대상으로 여러 가지의 보행훈련을 실시한 연구들이 보고되고 있다. 대표적인 예가 기능적 전기자극과 체중지지를 제공한 트레드밀훈련이다. 체중지지를 제공한 트레드밀훈련은 하니스를 이용하여 척수손상 환자의 체중을 지지하여 줌으로서 체간의 균형을 유지시켜주고, 트레드밀의 벨트가 회전하면서 입각기 동안에 고관절을 신전시켜 뒤로 밀어내는 동작을 돕는다(Forssberg 등, 1980; Pearson 등, 1998). 기능적 전기자극은 유각기 동안 하지의 굴곡 반응을 만들어 하지를 앞으로 내딛는 동작을 돕는다(Granat 등, 1992; Ladouceur 와 Barbeau, 2000).

Protas 등(2001)은 척수손상 환자 3명을 대상으로 12주간의 체중지지를 제공한 트레드밀훈련을 통해 보행속도, 보행 지구력이 증가

되고, 에너지 소모비의 효율성이 증가하였다고 보고하였다. Field-Fote(2001)는 불완전 척수손상 환자를 대상으로 기능적 전기자극과 체중지지를 제공한 트레드밀훈련을 실시한 결과, 보행능력에 향상이 있었다고 보고하였고, 또한, Hesse 등(1995)은 편마비 환자를 대상으로 기능적 전기자극과 체중지지를 제공한 트레드밀훈련을 병행하여 실시한 결과, 보행속도, 보폭, 활보장 등이 증가하였다고 보고하였다. 그리고 Wernig(1998)는 불완전 척수손상 환자의 보행능력 향상을 위해 하지의 내딛는 것을 도우면서 체중지지를 주기 위한 부분적인 체중지지를 제공하는 재활프로그램을 제시하였다. 이 연구에서 훈련 목적으로 사용한 자동보행장치(auto-walking machine)는 이전 연구에서 언급한 트레드밀훈련에서의 입각기 동안의 고관절과 슬관절의 신전을 돕는 효과와 기능적 전기자극의 초기 유각기의 하지를 앞으로 내딛는 효과를 동시에 제공하고 있으며, 또한 골반밴드를 사용하고 있다. 이 연구의 목적은 자동보행장치를 불완전 척수손상 환자에게 적용하였을 경우, 환자의 보행양상과 에너지 소비율의 변화에 미치는 영향을 알아보는 것이다.

본 연구의 가설은 다음과 같다.

첫째, 불완전 척수손상 환자에게 자동보행장치를 이용한 훈련을 실시하였을 경우 실시 전보다 후에 환자의 보행속도는 향상될 것이다.

둘째, 불완전 척수손상 환자에게 자동보행장치를 이용한 훈련을 실시하였을 경우 실시 전보다 후에 환자의 생리학적 소모지수는 감소할 것이다.

셋째, 불완전 척수손상 환자에게 자동보행장치를 이용한 훈련을 실시하였을 경우 실시 전보다 후에 환자의 하지의 운동점수는 향상될 것이다.

넷째, 불완전 척수손상 환자에게 자동보행장치를 이용한 훈련을 실시하였을 경우 실시

전보다 후에 환자의 WISCI (walking index for spinal cord injury) 수준이 향상될 것이다.

와 관계없이 서기 자세 유지와 보행이 가능한 환자

II. 연구방법

1. 연구대상

이 연구에 참가한 환자는 척수손상으로 인해 사지 또는 하지에 불완전 마비가 있는 척수손상 환자로서 국립재활병원에 2002년 12월부터 2003년 3월까지 입원 치료를 받은 환자들을 대상으로 하였다. 대상자는 4명의 남성으로 평균연령은 45세, 유병기간은 평균 8.25개월이었다(표 1). 대상자 중 1명은 척수경색(spinal cord infarction)이었고, 3명은 교통사고에 의한 외상성 척수손상 환자였다. 대상자들은 미국 척수손상협회의 분류상 1명은 D 등급이었고, 3명은 C 등급이었다. 각 대상자들은 자동보행장치를 이용하여 주 6회, 45분씩 보행훈련을 실시하였다.

연구 대상자들의 선정조건은 다음과 같다.

- 가. 외상 및 질병에 의한 척수손상 환자
- 나. 유병기간이 2년 이내인 환자
- 다. 척수손상 이외의 정형외과적 질환이 없는 환자
- 라. 미국 척수손상협회(American Spinal Injury Association: ASIA)의 분류로 C 또는 D인 환자
- 마. 보조기 및 기타 보조장구의 사용 유무

2. 측정방법

각 변수들의 측정은 훈련을 시작하기 전, 훈련을 시작하고 4주와 8주로 전체 3회 측정하였다. 측정변수는 보행속도, 생리학적 소모지수, 하지의 운동점수, WISCI로 하였다.

가. 보행속도

보행속도는 최대한 빠르게 100 m를 보행할 때의 속도를 구하여 %s 단위로 나타내었다.

나. 생리학적 소모지수(Physiological costs index: PCI)

생리학적 소모지수는 보행 시 심박동수에서 안정기의 심박동수를 뺀 차이를 보행속도로 나눈 값으로 구하였다(Nene과 Jennings, 1992). 심박동수는 DynaScope (DS-3300)의 센서(heart rate sensor)를 이용하여 측정하였고, 안정기의 심박동수는 100 m 보행속도 측정 전에 3분간을 측정하였으며, 보행 시 심박동수는 100 m를 보행했을 때의 심박동수로 하였다.

생리학적 소모지수

$$= \frac{\text{보행중심박동수} - \text{안정기심박수}}{\text{보행속도}}$$

표 1. 연구대상자의 일반적인 특징

	성별	연령(세)	진단명	유병기간	ASIA scale
대상자 1	남	42	T1/C7 incomplete tetraplegia	15	D
대상자 2	남	55	T7 spinal cord infarction	5	C
대상자 3	남	44	L2/L2 incomplete paraplegia	7	C
대상자 4	남	39	T1/T1 incomplete tetraplegia	6	C

ASIA scale C: 감각과 운동기능이 기능적으로 사용이 가능하게 회복된 단계
ASIA scale D: 감각과 운동기능이 거의 정상에 가깝게 회복된 단계

다. 하지의 운동점수

하지의 운동점수는 도수근력검사(manual muscle testing)로 0점에서 5점까지를 6점 척도로 측정하였다. 양측의 대둔근(gluteus maximus), 중둔근(gluteus medius), 장요근(iliopsoas), 대퇴사두근(quadriceps), 슬괘근(hamstring), 전경골근(tibialis anterior)을 측정하였다.

라. WISCI (Walking index for spinal cord injury)

WISCI는 척수손상 환자를 위한 보행 평가 도구로서 물리적 도움(physical assistance), 보조기(brace), 보조장구(device)등의 사용 유무와 정도에 따라 순위를 낸 것으로, 물리적 도움은 중간(moderate)에서 최대(maximum)

의 도움(assist)의 정도를 두 사람의 도움으로 간주하였고, 최소 도움(minimal assist)을 한 사람으로 간주하였다. 이 평가에서 보조기는 장하지 보조기(long leg brace) 또는 단하지 보조기(short leg brace) 어느 것을 착용하든지 무관하며, 한 쪽에 착용하였는지, 양쪽에 착용하였는지 역시 무관하였다. 이 평가에서 사용한 보조장구(device)는 평행봉(parallel bar), 보행기(walker), 목발(crutches), 지팡이(cane) 등 이었으며, 목발과 지팡이는 같은 정도로 간주하였고, 한 쪽에 사용하였는지, 양쪽에 사용하였는지만을 구분하였다. 본 연구에서 사용한 WISCI 항목은 20개의 개념을 Ditunno 등(2000)의 연구에서 보행능력에 따라 재배열한 항목을 이용하여 평가하였다(표 2).

표 2. 척수손상 환자를 위한 보행지수(WISCI)

Level	Devices	Braces	Assistance	Distance	
0				Unable	
1	P-bar	Braces	2 persons	> 10 meters	//B210
2	P-bar	Braces	2 persons	10 meters	//B2
3	P-bar	Braces	1 person	10 meters	//B1
4	P-bar	No braces	1 person	10 meters	//NB1
5	P-bar	Braces	No assist	10 meters	//B0
6	Walker	Braces	1 person	10 meters	WB1
7	Two cr	Braces	1 person	10 meters	2CB1
8	Walker	No braces	1 person	10 meters	WNB1
9	Walker	Braces	No assist	10 meters	WB0
10	One ca/cr	Braces	1 person	10 meters	1CB1
11	Two cr	No braces	1 person	10 meters	2CNB1
12	Two cr	Braces	No assist	10 meters	2CB0
13	Walker	No braces	No assist	10 meters	WNB0
14	One ca/cr	No braces	1 person	10 meters	1CNB1
15	One ca/cr	Braces	No assist	10 meters	1CB0
16	Two cr	No braces	No assist	10 meters	2CNB0
17	No devices	No braces	1 person	10 meters	NDNB1
18	No devices	Braces	No assist	10 meters	NDB0
19	One ca/cr	No braces	No assist	10 meters	1CNB0
20	No devices	No braces	No assist	10 meters	NDNB0

3. 실험과정

훈련을 시작하기 전에 각 변수들을 측정하였다. 대상자는 자동보행장치에 장착되어 있는 의자에 앉아 골반밴드를 착용하고 자동보행장치에 선다(그림 1). 보행속도는 대상자가 안전하게 실시할 수 있는 속도로 결정하였으며, 훈련시간은 각 15분씩 3회 실시하여 전체 45분을 실시하였다. 주 6일을 실시하고, 4주와 8주가 지난 후에 각 변수들을 다시 측정하였다. 훈련의 보행속도는 각 주 마지막 날 재평가하여 다음 주 훈련을 시작할 때 재평가된 속도로 적용하였다.

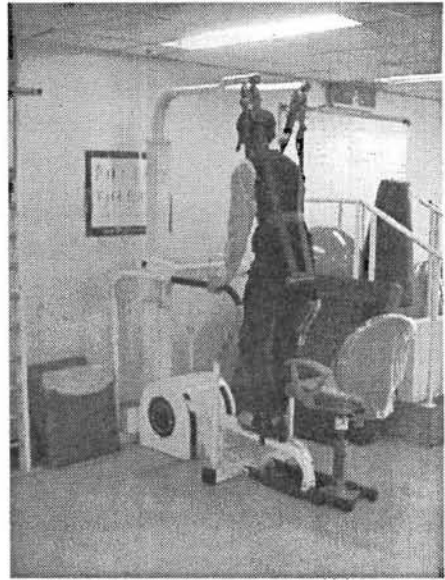


그림 1. 자동보행기를 이용한 보행훈련

4. 분석방법

보행속도, 생리학적 소모지수는 평균값과 표준편차를 구하였고, 각 측정값의 평균의 차이를 알아보기 위하여 반복측정 변량분석을 실시하였다. 하지의 운동점수와 WISCI 수준의 훈련 전과 후의 차이를 알아보기 위하여 대응비교 t-검정(paired t-test)을 실시하였다 ($\alpha=.05$)

는 .22 %이었고, 자동보행훈련기를 이용하여 4주간 훈련한 후의 평균 보행속도는 .28 %이었고, 8주간 훈련한 후의 평균 보행속도는 .31 %이었다(표 3). 각각의 평균 보행속도는 통계적으로 유의한 증가를 보였다($p=.004$). 사후검정 결과 훈련 전과 4주 훈련 후의 평균 보행속도($p=.035$), 훈련전과 8주 훈련후의 평균 보행속도($p=.004$) 사이에 통계적으로 유의한 증가를 보였다(그림 2).

III. 결과

1. 보행속도(Gait speed)

각 대상자들의 100 m 보행속도는 표 3과 같고, 각 대상자들의 훈련 전 평균 보행속도

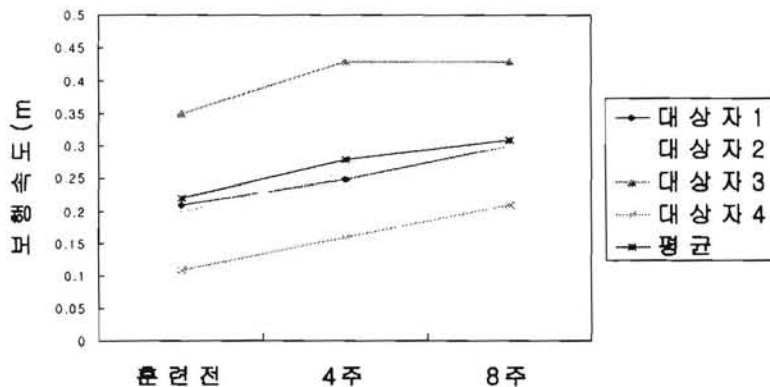


그림 2. 보행속도

표 3. 각 대상자들의 훈련기간에 따른 100 m 보행속도

(단위: %)

	훈련 전	4주	8주
대상자 1	.21	.25	.30
대상자 2	.20	.26	.30
대상자 3	.35	.43	.43
대상자 4	.11	.16	.21
평균	.22	.28	.31

2. 생리학적 소모지수(Physiological cost index: beat/m)

각 대상자들의 훈련 전 평균 생리학적 소모지수는 4.61 beats/m이었고, 4주간 훈련 후의 평균 생리학적 소모지수는 3.03 beats/m이었으며, 8주간 훈련 후의 평균 생리학적 소모지수는 2.02 beats/m이었다(표 4). 대상자

들의 평균 생리학적 소모지수는 각 기간에 따라 통계적으로 유의한 감소를 보이지는 않았다($p=.140$). 그러나 대상자 2의 경우에는 심박동수에 의해 계산되는 생리학적 소모지수가 훈련 전, 4주 후, 8주 후에 점차적으로 감소하여 보행 중에 사용되는 에너지가 감소하였음을 보여주고 있다. 이 외에 대상자 1은

표 4. 각 대상자들의 훈련기간에 따른 생리학적 소모지수

(단위: beats/m)

	훈련 전	4주	8주
대상자 1	2.78	2.93	1.67
대상자 2	4.50	3.59	1.78
대상자 3	1.00	.70	.66
대상자 4	10.15	4.90	3.97
평균	4.61	3.03	2.02

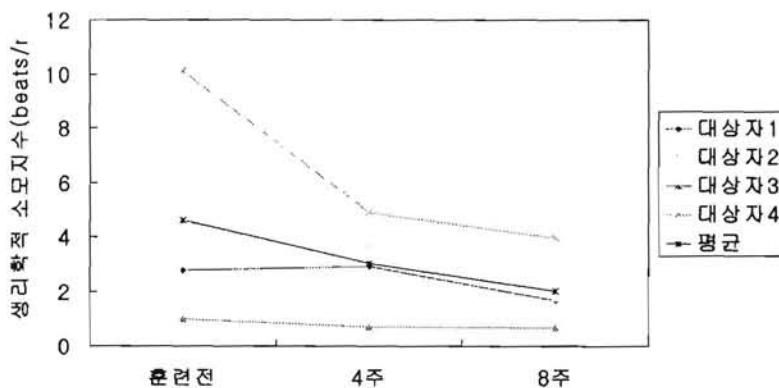


그림 3. 생리학적 소모지수

자동보행훈련기를 이용한 4주 후에는 생리학 적 소모지수가 증가하였지만 훈련 8주 후에는 감소하였고, 대상자3과 4는 4주 훈련 후에 감소한 생리학적 소모지수가 훈련을 종료한 8주까지 지속되었다(그림 3).

3. 하지의 운동점수(Motor score)와 WISCI 수준

대상자들의 하지의 운동점수는 훈련 전 평균 29.75에서 8주간의 자동보행훈련기를 이용한 훈련 후 평균 35.75로 유의한 증가를 보였다($p=.043$)(표 5). 척수손상 환자의 보행능력을 평가하는 도구인 WISCI는 훈련 전 평균 10수준에서 8주간의 훈련 후 평균 19수준으로 9수준이 증가하여 통계적으로 유의한 증가를 보였다($p=.007$)(그림 4).

IV. 고찰

본 연구는 4명의 외상 및 질병에 의한 불완전 척수손상 환자를 대상으로 실시되었다. 보행속도와 생리학적 소모지수는 훈련 전, 4주 훈련 후, 8주 훈련 후에 각각 측정되었고, 양측의 대둔근, 중둔근, 장요근, 대퇴사두근, 슬괵근, 전경골근의 도수근력검사 점수를 합계한 하지의 운동점수와 척수손상 환자의 보행 양상을 검사하는 WISCI는 훈련 전과 8주 훈련 후에 측정되었다. 평균 보행속도는 훈련 전 .22 %, 자동보행장치를 이용하여 4주간 훈련한 후 .28 %, 8주간 훈련한 후 .31 %로 각각의 평균 보행속도는 통계적으로 유의한 증가를 보였다($p=.004$). 사후검정 결과 훈련 전과 4주 훈련 후($p=.035$), 훈련 전과 8주 훈

표 5. 하지의 운동점수와 WISCI 수준

	운동점수		WISCI 수준	
	훈련 전	8주	훈련 전	8주
대상자 1	34	37	13	19
대상자 2	25	36	8	19
대상자 3	24	28	12	19
대상자 4	36	42	8	19
평균	29.75	35.75	10	19

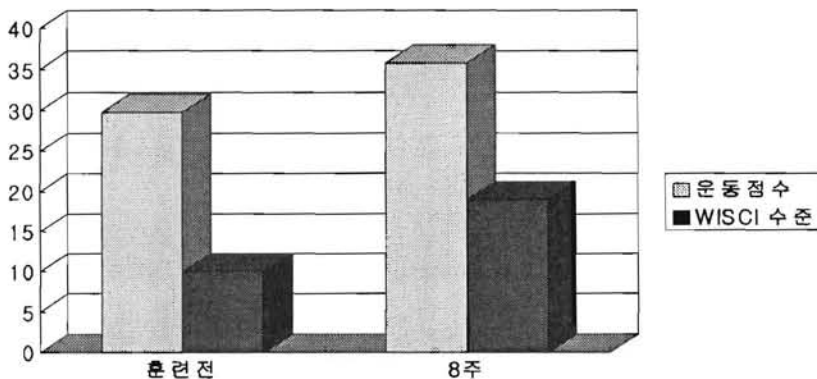


그림 4. 하지의 운동점수와 WISCI 수준

런 후($p=.004$) 사이에 통계적으로 유의한 증가를 보였다. 이러한 결과는 이전의 여러 연구들의 결과와 일치하는 것이다(Abel 등, 2002; Edelle와 Field-Fote, 2001; Protas 등, 2001). 보행속도는 환자들에게 있어 신경학적 결손에 의한 보행능력의 표준척도로 사용되어 왔으며(Holden 등, 1984; Richards 등, 1993), Edelle(2001)의 연구 결과에 따르면, 트레드밀에서의 보행속도가 빠르면 지면에서의 보행속도도 빨라진다고 하였다. 이는 트레드밀에서 정상 보행속도와 비슷한 빠른 속도로 훈련을 실시하면, 지면에서도 그와 비슷한 속도로 보행할 수 있다는 사실을 시사하며, 또한, 중추신경계에 질환이 있는 환자의 보행 과정을 최대화시키기 위해서는 적절한 정상 속도로 훈련을 실시하여야 한다는 이전 연구들의 결과와 일치한다(Behrman과 Harkema, 2000; Sullivan 등, 2000). 이 연구에서도 자동보행장치에서의 보행속도가 훈련 전·후를 비교하였을 경우 빨라졌으며, 결과에서 보듯이 지면에서의 보행속도도 의미있게 증가됨이 확인되었다. 하지의 운동점수는 훈련 전 29.75에서 훈련 후 35.75로 통계적으로 유의한 증가를 보였다($p=.043$). Edelle (2001)의 체중지지를 제공한 트레드밀과 기능적 전기자극을 병행한 훈련의 결과와 Protas 등(2001)의 체중지지를 제공한 트레드밀훈련의 결과와 일치하는 결과이다. 이 연구에서는 특히, 대둔근, 대퇴사두근, 전경골근의 근력이 현저하게 증진되었으며, 이는 입각기에서의 대둔근과 대퇴사두근의 기여를 증진시켰으며 또한, 유각기 초기에서의 전경골근 기여를 증진시켰을 것으로 생각된다. WISCI 수준은 훈련 전 10수준에서 훈련 후 19수준($p=.007$)으로 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 이 연구에 참여한 대상자 모두가 8주간의 훈련이 종료된 시기에 한 쪽에 지팡이 또는 목발을 짚고, 보조기나 타인의 도움없이 10 m 보행이 가능하였으며, 이는 자동보행장치를 이

용한 훈련이 보행에 관계된 여러 가지 요인을 향상시키는 효과가 있음을 시사한다. 하지만, 생리학적 소모지수는 훈련 전 4.61 beats/m, 4주 훈련 후 3.03 beats/m, 8주 훈련 후 2.02 beats/m으로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p=.140$). 이러한 결과는 Herman 등(2002)의 연구에서 체중지지 트레드밀과 기능적 전기자극을 병행한 결과와는 차이가 있는 결과이지만, 평균값이 점차적으로 감소하는 경향을 보였으며, 훈련 전과 8주 훈련 후의 생리학적 소모지수는 2배 이상 감소하였다. 따라서 대상자의 수를 증가시켜 추가연구가 필요할 것으로 생각된다. 이 연구는 자동보행장치를 이용한 보행훈련의 효과를 알아보는 것이 목적이었다. 자동보행장치는 체중지지를 제공한 트레드밀훈련에서의 입각기 동안의 고관절과 슬관절의 신전을 돕는 효과와 기능적 전기자극의 초기 유각기의 하지를 앞으로 내딛는 효과를 동시에 제공하고 있음이 밝혀졌다. Herman 등(2002)은 불완전 척수손상 환자의 보행을 증진시키기 위해 제공된 부분적인 체중지지를 제공한 트레드밀훈련과 기능적 전기자극이 척수 내의 감각-운동 반사(sensory-motor reflex) 작용을 자극하여 보행과 관계된 척수 내 회로의 기능을 증진시키는 효과가 있다고 하였으며, 이 연구에서도 Herman 등(2002)의 연구의 결과와 동일한 결과를 보이고 있어, 자동보행장치도 척수 내의 보행과 관계된 회로의 기능을 증진시켜 불완전 척수손상 환자의 보행 속도, 하지의 운동점수, WISCI 수준 등과 같은 보행기능을 증진시킨 것으로 생각된다.

V. 결론

이 연구는 불완전 척수손상 환자에게 자동보행장치를 이용한 8주간의 보행훈련이 보행 속도, 생리학적 소모지수, 하지의 운동점수, WISCI 수준에 미치는 효과를 알아보기 위해

실시되었다. 자동보행장치는 골반밴드에 의해 체중지지를 도와주고, 기계 장치에 의해 입각기의 하지 신전과 유각기의 하지 전진을 도와준다. 각 대상자들의 100 m 보행속도는 훈련 전 .22 %, 4주간 훈련 후 .28 %, 8주간 훈련 후 .31 %로 각각의 평균 보행속도는 통계적으로 유의한 증가를 보였다($p=.004$). 사후검정 결과 훈련 전과 4주 훈련 후의 평균 보행속도($p=.035$), 훈련 전과 8주 훈련 후의 평균 보행속도($p=.004$) 사이에 통계적으로 유의한 증가를 보였다. 각 대상자들의 생리학적 소모지수는 훈련 전 4.61 beats/m, 4주간 훈련 후 3.03 beats/m, 8주간 훈련 후 2.02 beats/m로 대상자들의 평균 생리학적 소모지수는 각 기간에 따라 통계적으로 유의한 감소를 보이지 않았다($p=.140$). 대상자들의 하지의 운동점수는 훈련 전 평균 29.75에서 8주간의 훈련 후 평균 35.75로 통계적으로 유의한 증가를 보였다($p=.043$). 척수손상 환자의 보행능력을 평가하는 도구인 WISCI 수준은 훈련 전 평균 10수준에서 8주간의 훈련 후 평균 19수준으로 9수준이 증가하여 통계적으로 유의한 증가를 보였다($p=.007$). 이 연구의 결과로 추론해 볼 때, 자동보행장치를 이용한 훈련은 부분적인 체중지지와 기능적 전기자극을 병행하여 실시한 이전 연구들의 결과와 유사한 결과를 얻을 수 있었고, 보행기능의 향상에 효과가 있는 것으로 생각된다. 또한, 이 연구에서 통계적인 향상의 의미가 보이지 않았던 생리학적 소모지수도 대상자의 수를 증가시켜 연구한다면 통계적으로 유의한 차이가 있을 것으로 생각된다.

인용문헌

- Able R, Schablowski M, Rupp R, et al. Gait analysis on the treadmill monitoring exercise in the treatment of paraplegia. *Spinal Cord*. 2002;40:17-22.
- Alander DH, Parker J, Stauffer ES. Intermediate term outcome of cervical spinal cord injured patients older than 50 years of age. *Spine*. 1997;22:1189-1192.
- Behman AL, Harkema SJ. Locomotor training after human spinal cord injury: A series of case studies. *Phys Ther*. 2000;80:688-700.
- Burns SP, Golding DG, Rolle WA Jr, et al. Recovery of ambulation in motor-incomplete tetraplegia. *Arch Phys Med Rehabil*. 1997;78:1169-1172.
- Crozier KS, Graziani V, Ditunno JF Jr, et al. Spinal cord injury: Prognosis for ambulation based on sensory examination in patients who are initially motor complete. *Arch Phys Med Rehabil*. 1991;72:119-121.
- Crozier KS, Cheng LL, Graziani V, et al. Spinal cord injury: Prognosis for ambulation based on quadriceps recovery. *Paraplegia*. 1992;30:762-767.
- Ditunno JF Jr, Ditunno PL, Graziani V, et al. Walking index for spinal cord injury (WISCI): An international multi-center validity and reliability study. *Spinal Cord*. 2000;38:234-243.
- Field-Fote EC. Combined use of body weight support, functional electrical stimulation, and treadmill training to improve walking ability in individuals with chronic incomplete spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 2001;82:818-824.
- Forssberg H, Grillner S, Halbertsma J, et al. The locomotion of the low spinal cat. II. Interlimb coordination. *Acta Physiol Scand*. 1980;108:283-295.
- Fraser MH. Personal Communication. 1999.

- Granat M, Keating JF, Smith AC, et al. The use of functional electrical stimulation to assist gait in patients with incomplete spinal cord injury. *Disabil Rehabil.* 1992;14:93-97.
- Hesse S, Malezic M, Schaffrin A, et al. Restoration of gait by combined treadmill training and multichannel electrical stimulation in non-ambulatory hemiplegic patients. *Scand J Rehabil Med.* 1995;27:199-204.
- Holden MK, Gill KM, Magliozzi MR, et al. Clinical gait assessment in the neurologically impaired: Reliability and meaningfulness. *Phys Ther.* 1984;64:35-40.
- Herman R, He J, D'Luzansky S, et al. Spinal cord stimulation facilitates functional walking in a chronic, incomplete spinal cord injured. *Spinal Cord.* 2002; 40:65-68.
- Ladouceur M, Barbeau H. Functional electrical stimulation-assisted walking for persons with incomplete spinal injuries: Longitudinal changes in maximal over-ground walking speed. *Scand J Rehabil Med.* 2000;32:28-36.
- Nene AV, Jennings SJ. Physiological cost index of paraplegic locomotion using the ORLAU ParaWalker. *Paraplegia.* 1992;30:246-252.
- Pearson KG, Misiaszek JE, Fouad K. Enhancement and resetting of locomotor activity by muscle afferents. *Ann NY Acad Sci.* 1998;860:203-215.
- Penrod LE, Hegde SK, Ditunno JF Jr. Age effect on prognosis for functional recovery in acute, traumatic central cord syndrome. *Arch Phys Med Rehabil.* 1990;71:963-968.
- Protas EJ, Holmes SA, Qureshy H, et al. Supported treadmill ambulation training after spinal cord injury: A pilot study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82: 825-831.
- Richards CI, Malouin F, Wood Dauphinee S, et al. Task-specific physical therapy for optimization of gait recovery in acute stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil.* 1993;74:12-20.
- Sullivan KJ, Knowlton BJ, Dobkin H. Stroke severity and treadmill training as predictors of locomotor recovery in chronic stroke [abstract]. *Neurol Report.* 2000;24:173.
- Water RL, Adkins RH, Yakura JS, et al. Motor and sensory recovery following incomplete paraplegia. *Arch Phys Med Rehabil.* 1994;75:67-72.
- Wernig A, Nanassy A, Muller S. Maintenance of locomotor abilities following Laufband (treadmill) therapy in para- and tetraplegic persons: Follow-up studies. *Spinal Cord.* 1998;36:744-749.