

재활운동에 참가한 뇌졸중 환자들의 걷기형태 비교 연구

진영완*

동의대학교 특수체육학과

Received July 9, 2009 / Accepted September 4, 2009

The Comparison Research on Walking Pattern of Rehabilitation Training Program Participants in Stroke Patients. Young-Wan Jin*. Dept. of Special Physical Education, Dong-Eui University, Busan 614-714, Korea - The purpose of this study was to analyse the gait characteristics of stroke patients walking on a Zebris system, through quantitative three-dimensional biomechanical analysis. They underwent a continuous rehabilitation training program (RTP). A comparison was made between 3 month and 6 month RTP participants. Their ages were between 60 and 65. The data were analyzed by t-test. The result of comparative analysis of the two groups can be summarized as below. Temporal-spatial data, sagittal plane angular kinematics data, and peak ground reaction force and max pressure data showed that there were no significant differences between the 3 month RTP group and the 6month RTP group (Table 2, Table3, Table 4). It can be suggested that patients with hemiplegia after stroke can improve their walking function through continuous RTP participation.

Key words : Stroke patients, rehabilitation training program, kinematics, kinetics, hemiplegia

서 론

현대화와 산업화의 결과는 사람에게 안락하고 윤택한 삶을 가져왔으나 자연친화적인 유기체로서의 삶은 멀어지게 된 결과를 만들었다. 그로 인해 쉽게 가까워진 생활습관병이라고 알려진 고혈압 고지혈증 당뇨병 등은 뇌졸중을 초래하는 위험 인자로 잘 알려져 있다. 뇌졸중은 물론 예방이 치료를 능가하는 최선의 선택이나 예방이 부족하여 일단 뇌졸중이 발생된다면 환자 한 사람만의 걱정이 아니고 주위 가족 모두가 크나큰 짐을 안게 된다[6]. 뇌졸중 환자는 감각장애, 지각장애, 지각상실, 언어장애 및 운동장애를 갖는데 그로 인해 일상생활을 위한 활동들(걷기, 계단오르기, 의자에서 일어서기)의 수행능력에 제한을 받게 된다[15]. 뇌졸중 발병 후 운동능력의 저하와 기동성의 소실이 가장 큰 문제점일 것이다. Cheng 등[2]은 뇌졸중 후 갖게 되는 최대 상실감이 보행능력의 소실이라 하였으며, 운동치료의 첫 번째 목적이 보행이라 할 만큼 보행의 중요성을 강조하였다. Richards 등[11]은 뇌졸중 환자들은 뇌 손상으로 인한 비정상적인 근긴장, 움직이는 속도의 지연, 반사작용, 밸런스장애 등의 다양한 신경학적 문제에 직면하게 되며, 손상 후 보행과정에서 지나치게 대뇌의 피질에 의존하여 수의적으로 보행을 가져가려는 과제 지향적인 움직임의 방식을 취하고 있으며, 이러한 보행은 과도한 에너지를 소모하게 되며 보행속도가 느려진다고 발표하였다. Carr와 Shepherd [1]는 대뇌 피질에 의존하는 보행은 결국 과도한 긴장, 연합반사, 비대칭적 자세, 보상작용을 만들게 되고 더욱더

비효율적인 보행으로 진행되어간다고 발표하였다. 뇌졸중은 우리나라에서 암에 이어 가장 많은 사망 원인이 되며 초기 치료법의 발달로 조기 사망률이 낮아진 대신 70-80% 이상에서 심한 장애를 남기는 중증의 질환이다[14]. 뇌졸중 재활운동의 목표는 환자가 최대한 기능적인 독립을 얻도록 하며 환자와 가족 모두가 이전의 역할을 되찾고 사회로의 복귀를 촉진시켜서 삶의 질을 높이는 것이다. 이를 위하여 마비된 쪽의 기능을 회복시키고 건강한 쪽을 강화하며 일상생활에서의 기능, 의사소통 능력, 인지기능을 증진시키고 적절한 보조 기구를 처방하며, 사회적, 직업적 환경과 조건을 변형시켜 주는 등 다방면에 걸친 포괄적인 치료를 실시하게 된다. 구체적인 재활운동은 마비된 부위의 운동기능 회복을 유도하고 마비된 신체 부위의 근력을 향상시켜, 앓는 자세부터 보행을 할 때까지 기능적 회복을 유도하며 동반되는 경직이나 근골격계의 통증을 감소시킨다. 뇌졸중 후 여러 가지 기전을 통해 손상된 뇌세포 주위의 세포들이 죽은 세포의 기능을 대신하여 마비 등의 후유증이 점차 좋아지며 초기부터 다양한 운동과 재활 프로그램을 시행할 때 빠른 회복을 보인다는 연구 결과들이 많이 발표되고 있다. 3~6개월의 재활치료 기간 중 빠른 '신경학적' 회복을 기대할 수 있고 이후에는 신경학적 회복은 더디지만 반복적인 재활운동을 통해 '기능적인' 회복이 나타나게 된다[14]. 뇌졸중 환자들은 재활운동이 필수적으로 수반된다. 그리하여 본 연구는 60-65세 사이의 뇌졸중 환자의 걷기동작 수행 시 운동학적 및 운동역학적 특성을 연구하는데 목적이 있다.

재료 및 방법

연구 대상자

본 연구의 대상자는 B광역시에 소재한 J복지관에서 재활운

*Corresponding author

Tel : +82-51-890-2511, Fax : +82-51-890-2157

E-mail : ywjn@deu.ac.kr

동에 참가하고 있는 여자뇌졸중환자 60~65세로 뇌병변장애 1급인자로서 독립적으로 10 m 이상 걸을 수 있는 6명을 선정 하였고, 발병한지 3개월 경과시에 1차 실험, 6개월 경과시에 2차 실험하였다.

실험 방법

본 연구에 사용된 실험 및 분석 장비는 지면반력과 족저압 분포측정이 가능한 장비(Zebris, Fig. 1(a)), 영상분석장비를 사용하였다. 실험에 사용된 장비는 Table 1과 같다.

실험절차

- 1) 실험 전일에 족저압분포측정기, 카메라 등 모든 장비의 설치를 마쳤다.
- 2) 카메라 촬영속도는 30f rames/sec로 셔터 스피드는 1/500 sec로 설정하였다.
- 3) 실험당일 대상자들에게 실험의 목적 및 주의사항과 실험 방법에 대해 충분히 설명하였다.
- 4) 반사마커를 부착한 후 혼들리지 않게 고정시켰다.
- 5) 족저압측정기에 적응할 수 있는 연습동작을 충분히 실시 하였다.
- 6) 족저압측정기에서 걷기 동작 3회 실시하였다.
- 7) 모든 실험 내용을 디지털카메라에 담았다.
- 8) 실측치 좌표계는 촬영 후 제거하였다(Fig. 1(b)).

환자들의 재활프로그램

환자들은 꾸준하게 1주일 3일씩 다음 프로그램에 참가하였다.

물리치료

전문가의 지도아래 마비된 부위의 운동기능회복을 유도하고 마비된 신체부위의 균력을 향상시켜 앓는 자세부터 보행할 때까지 기능적 회복을 위한 치료로 보행훈련을 실시하였다.

- a. 서서 좌우로 체중이동하기
- b. 마비측 다리를 앞에 위치시켜 앞뒤로 체중이동하기
- c. 비마비측 다리를 앞에 위치시켜 앞뒤로 체중이동하기
- d. 마비측 다리를 앞에 위치시켜 무릎구부렸다 펴다 반복하기
- e. 마비측 다리를 뒤에 위치 시켜 무릎구부렸다 펴다 반복하기
- f. 지팡이로 걷기
- g. 계단오르기 내리기

Table 1. Instruments

Instruments	Company	Model
Video camera	JVC	JVC GR-DVL9800
Zebris Emed sensor platform	Zebris Medical GmbH	FDM-T System
Tripod	Velbon	Velbon VGB-36
Illumination	LPL	LPL VL302
Computer	Samsung	Magic station mv40

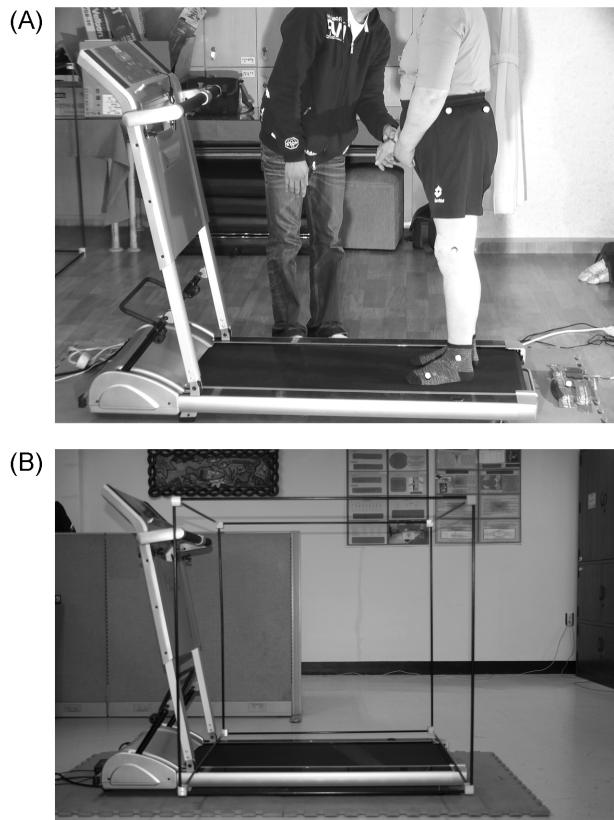


Fig. 1. Walking in Zebris system (A) and Zebris and Reference system (B).

작업치료

상지와 하지의 운동기능 회복을 유도하기위하여 세수하기, 옷입기, 목욕하기 등의 일상생활에서 필요한 동작을 연습하여 기억력, 집중력 등의 인지기능훈련을 실시한다.

a. 웃옷입기 벗기 b. 바지입기 벗기 c. 양말신기 벗기 d. 신발신기 벗기를 실시하였다.

심리치료

환자의 우울증이나 기억력, 판단력 장애가 나타난 경우 임상심리사가 환자의 정신, 심리상태를 파악하여 적절한 조치를 취하였다.

통계처리

“모든 변인들의 값은 차이가 있다”는 가설 아래 통계처

리는 SPSS WIN v 15.0을 사용하여 t-test에 의해 계산되었다($p < 0.05$).

결과 및 고찰

Temporo-Spatial data

꾸준히 재활운동에 참가한 뇌졸중환자를 대상으로 3개월 경과시에 1차 실험, 6개월 경과시에 2차 실험하여 다음과 같은 연구결과를 얻었다(Table 2). 영상분석방법을 통하여 얻어진 일반적인 운동학적 변인들은 다음과 같다. 걷기속도는 뇌졸중 환자들의 건강상태를 일반적인 눈으로 파악하기에 가장 좋은 변인이다[4]. 걷기속도는 3개월 운동참가와 6개월 운동참가자 간에 통계적으로 유의한 차이($P=0.58$)는 없었으나 평균의 비교에서 지속적으로 운동에 참가한 환자들은 상당히 걷기 속도가 빠른 것을 볼 수 있었다. Vickers 등[13]은 한쪽 다리 절단수술자가 의족을 착용한 후 지속적인 재활훈련에 참가한 사람을 대상으로 계단 오르기를 연구한 결과 걷기속도가 1.40 m/sec에서 1.42 m/sec로 향상되었다고 보고하였다. 한쪽발의 뒷꿈치 접촉에서 다른쪽발의 뒷꿈치 접촉까지의 거리(step length)를 나타내는 변인에서는 통계적으로 유의한 차이($p=0.48$)는 없었으나 6개월 동안 꾸준히 재활훈련에 참가한 대상자들은 상당히 자신있게 발을 내딛는 모습을 볼 수 있었다. 한쪽발의 뒷꿈치 접촉에서 반대편 발의 뒷꿈치 접촉까지의 걸린 시간(step time)을 나타내는 변인에서는 통계적으로 유의한 차이($p=0.53$)는 없었으나 평균의 비교(1.20 sec, 1.18 sec)에서 환측의 발이 빠르게 움직이는 모습을 볼 수 있었다. 이것은 보폭의 크기에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 한쪽발의 뒷꿈치가 지면에 닿아서 같은 발의 뒷꿈치가 다시 닿을 때까지의 거리(stride length)의 변인은 환측다리의 움직임과 전측다리의 움직임을 동시에 볼 수 있는 변인으로 환측의 보폭과 전측의 보폭이 동시에 좋아진 결과를 볼 수 있었다(22.41 cm, 24.18 cm, $p=0.42$). Jin 등[5]은 재활훈련에 참가한 무릎인공관절수술자의 비교연구에서 단축관절수술자(1.42 sec)가 다축관절수술자(1.58 sec)보다 계단을 빠르게 올라가는 것으로 보고하였다. Vickers 등[13]은 한쪽 다리 절단수술자가 의족을 착용한 후 지속적인 재활훈련에 참가한 사람을 대상으로 계단 오르기를 연구한 결과 양쪽 다리의 보폭 모두 지속적으로 좋아진다는

Table 2. Mean(SD) of Temporo-Spatial data

Mean (SD)	3 months	6 months	t
Walking speed (cm/sec)	12.65(2.31)	13.23(3.72)	0.58
Step length (cm)	11.18(1.52)	12.25(2.93)	0.48
Step time (sec)	1.20(0.33)	1.18(0.27)	0.53
Stride length (cm)	22.41(2.50)	24.18(7.85)	0.42
Stride time (sec)	2.38(0.53)	2.05(0.93)	0.44
Single support time (%)	34.97(3.74)	29.02(2.54)	0.74
Cadence (step/min)	21.04(2.12)	28.89(3.12)	0.27

결과를 발표하였다(0.35% BH, 0.37% BH). 환측다리의 보폭과 전측다리의 보폭을 동시에 볼 수 있는 보폭시간(stride time)은 재활운동에 꾸준히 참가한 사람들의 결과가 환측다리와 전측다리 모두 상당히 스윙 속도가 빨라지는 것을 볼 수 있었다(2.38 sec, 2.05 sec, $p=0.44$). 환측의 발만 지지면에 닿아 있는 시간(single support time)의 연구에서는 재활운동에 꾸준히 참가한 환자가 발을 지면으로부터 빨리 떠는 것으로 나타났다(34.97%, 29.02%, $p=0.74$). 환측다리 움직임의 빠르기를 나타내는 변인(cadence)에서는 1분당 움직임의 회수가 6개월 운동에 참가한 사람의 보폭회수가 3개월 운동에 참가한 사람의 보폭회수 보다 훨씬 빠르게 나타났다(21.04 step/min, 28.89 step/min, 0.27). 영상분석연구로 나타난 운동학적 변인들은 재활운동에 꾸준히 참가한 뇌졸중환자들의 일반적인 걷기형태는 많이 향상된 결과를 볼 수 있었다.

Sagittal plane Angular kinematics

재활운동에 꾸준히 참가한 대상자들을 대상으로 3개월 경과시에 1차 실험 6개월 경과시에 2차 실험 한 결과, 영상분석방법으로 얻어진 발목관절, 무릎관절, 엉덩관절의 각운동학적 변인은 Table 3과 같다. Table 3은 걷기동작 동안 각관절에서 3가지 국면을 선택하여 요약한 결과들이다. 발목관절의 각도변화는 뒷꿈치 착지시, 한걸음 중간지점 그리고 발앞쪽끝이 떨어지는 순간으로 나누어 배측굽곡 각도변화를 연구한 결과 3가지 국면에서 통계적으로 큰 차이($p=0.67$, $p=0.75$, $p=0.45$)는 없었으나 발목관절의 각도변화는 꾸준히 재활운동에 참가한 사람 다리를 힘차게 뻗는 것을 알 수 있었으며 걸음걸이에도 자신감이 붙는 것으로 나타났다. 무릎관절의 3가지 국면에서도 굴곡동작의 각도변화에서 통계적으로 큰 차이($p=0.71$, $p=0.42$, $p=0.78$)는 없었으나 재활운동에 꾸준히 참가한 환자들의 무릎굽곡각도의 변화로 보아 걸음걸이에 더욱더 자신감이 생기는 것을 알 수 있다. 엉덩관절의 각도변환 2가지국면에서 통계적으로 유의한 차이($p=0.80$, $p=0.56$)는 없었으나 엉덩관

Table 3. Sagittal plane kinematics during walking (degrees)

Mean (SD)	3 months	6 months	p value
Ankle-at event in gait cycle			
Heel strike	6.2(2.2)DF	9.1(1.8)DF	0.67
50% swing	15.7(3.8)DF	19.1(5.2)DF	0.75
Toe-off	8.1(1.4)DF	6.6(2.5)DF	0.45
Knee-at event in gait cycle			
Heel strike	20.1(5.5)F	24.7(8.2)F	0.71
50% swing	12.6(2.0)F	13.1(3.7)F	0.42
Max swing	59.5(10.3)F	57.8(11.2)F	0.78
Hip-at event in gait cycle			
Heel strike	52.9(11.9)F	53.2(10.9)F	0.80
50% swing	9.7(2.8)F g,	5.9(1.0)F	0.56

*DF: dorsi-flexion, F: flexion

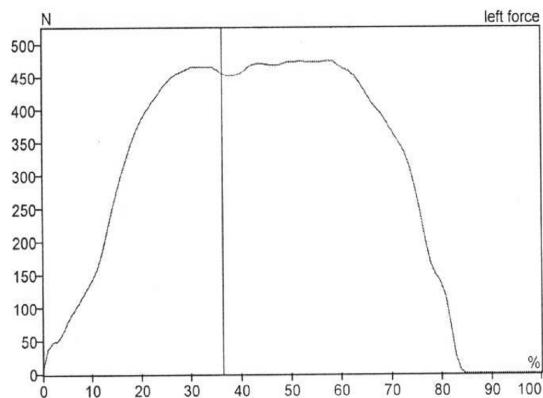


Fig. 2. Vertical force

절의 굴곡각도의 변화를 재활운동에 꾸준히 참가한 환자들의 엉덩관절의 각도가 크게 나타난 것은 대퇴의 움직임이 훨씬 좋았다는 것을 간접적으로 알 수 있다. 세 가지 관절각도의 변화는 Vickers 등[13]의 한쪽다리 절단수술환자의 재활운동 후의 연구결과, Vanicek 등[12]의 “한쪽 다리 절단환자들의 다른 종류의 의족착용후 비교연구에서 지속적인 재활운동에 참가한 대상자들의 걷기동작이 좋아졌다”는 연구의 결과들과 일치하는 것으로 나타났다.

Peak ground reaction force and Max pressure

걷기 동작시 환측발의 수직지면반력차이(Table 3, Fig. 2), 전후지면반력차이(Table 3)를 분석한 값의 차이는 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다. 일반적인 걷기동작시 수직지면반력은 첫 번째 피크는 발뒷꿈치가 지면에 접촉하는 순간 나타나는 충격력(impact force)이고, 두 번째피크와 세 번째피크는 추진력에 활용되고 자의적으로 발현되는 힘으로 근육, 인대, 건 등의 발달과 관계있는 능동적인 힘(active force) 피크가 나타난다[10]. 뇌졸중환자들의 수직지면반력중 최초 수직충격력은 일반인들의 수직충격력보다 크게 나타났다. 이것은 환측의 발을 크게 들어서 뒷꿈치 착지가 이루어지는 것을 볼 수 있었다. 꾸준히 재활운동에 참가한 환자들은 시간이 가면서 최초의 충격력이 줄어드는 것을 볼 수 있었다(1.51N/kg , 1.35N/kg , $p=0.45$). 걸음걸이의 추진력과 관계가 있는 능동적인 힘은 일반인들의 연구결과(Nigg [10], Frederick 등[3], Mcleod 등[8])보다는 작게 나타났다(0.79 N/kg , 0.95 N/kg , $p=0.37$; 1.11 N/kg , 1.38 N/kg , $p=0.41$). 하지만 꾸준히 재활운동에 참가한 환자들의 걷기동작은 걸음걸이 변화가 현저히 좋아지는 것을 볼 수 있었다(Table 3). 전방으로의 추진력(anterior propulsion force)과 후방으로의 감속력(posterior braking force)은 통계적으로 유의한 차이($p=0.28$, $p=0.39$)를 나타내지 않았으나 재활운동에 꾸준히 참가한 환자들은 전후방의 힘(0.10 N/kg , 0.15 N/kg ; -0.12 N/kg , -0.18 N/kg)이 좋아지는 것을 볼 수 있었다. Nigg와 Bahlsen [9]의 조깅동작

Table 4. Peak ground reaction force (N/kg) and Max pressure (N/cm^2)

Mean (SD)	3 months	6 months	p value
Vertical peak force			
V1 (impact force)	1.20(0.11)	1.13(0.08)	0.45
V2 (active force1)	0.79(0.05)	0.95(0.15)	0.37
V3 (active force2)	1.11(0.25)	1.38(0.04)	0.41
Anterior propulsion force	0.10(0.01)	0.15(0.02)	0.28
Posterior braking force	-0.12(0.04)	-0.18(0.04)	0.39
Max pressure	15.51(7.41)	13.99(5.01)	0.24

*V1: first vertical peak force, V2:second vertical force, V3: third peak force

*Force: body weight

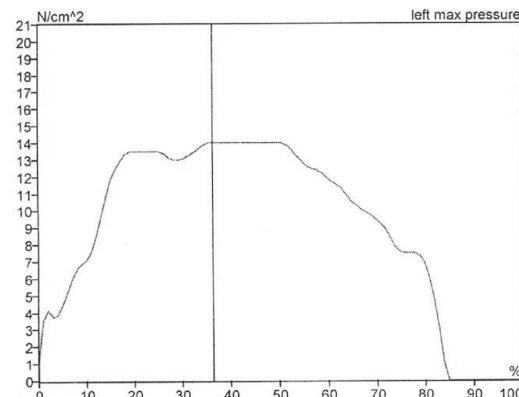


Fig. 3. Max pressure

의 연구에서 감속력과 가속력은 걷기와 달리 동작에서 중요한 변인이라고 발표하였다.

걷기 동작시 환측발의 최대압력분포값은 통계적으로 유의한 차이($p=0.24$)는 없었으나 6개월 재활훈련참가자($15.51\text{ N}/\text{cm}^2$)가 3개월 훈련참가자($13.99\text{ N}/\text{cm}^2$) 보다 지면을 더욱 가볍게 밟고 지나가는 것으로 나타났다(Table 4, Fig. 3). Lafortune [7]은 “발바닥과 지면과의 압력분포 측정은 발목관절의 저측굴곡과 배측굴곡을 알아보는데 용이하며, 발가락이 지면을 누르는 모습을 그림을 통해 알 수 있고, 발바닥전체에 퍼져있는 압력분포를 통하여 발이 지면에 착지해서 떨어지는 순간까지의 발바닥 힘의 움직임을 측정할 수 있다”고 하였다.

요약

뇌졸중 환 6명을 대상으로 발병후 3개월 지난 시기에 1차 실험을 실시하였고, 6개월 지난 시기에 2차 실험을 하여 뇌졸중환자들을 대상으로 운동학적변인, 각운동학적변인 그리고 지면반력과 발바닥의 압력분포를 알아보았다. 운동학적변인의 결과 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았으나 6개월간 꾸준히 재활운동에 참가한 환자는 3개월 때 보다 훨씬 보폭

(step length)이 크게 나타났으며(11.18 cm, 12.25 cm, p=0.58), 보폭의 빈도(step time) 또한 빠르게 나타났다(1.20 sec, 1.18 sec, p=0.53). 환측의 발만 지지면에 닿아 있는 시간(single support time)의 연구에서는 재활운동에 꾸준히 참가한 환자가 발을 지면으로부터 빨리 떼는 것으로 나타났다(34.97%, 29.02%, p=0.74). 환측다리 움직임의 빠르기를 나타내는 변인(cadence)에서는 1분당 움직임의 회수가 6개월 운동에 참가한 사람의 보폭회수가 3개월 운동에 참가한 사람의 보폭회수보다 훨씬 빠르게 나타났다(21.04 step/min, 28.89 step/min, 0.27). 각운동학변인에서는 통계적으로 모든 변인에서 유의한 차이는 나타나지 않았으나 평균의 비교에서 꾸준하게 6개월 동안 재활운동에 참가한 환자는 발목관절, 무릎관절 그리고 엉덩관절 모두의 가동범위가 크게 나타났다. 걷기동작에서 상해의 원인이 되는 최초 접촉 순간의 충격력(impact force)의 비교에서는 6개월간 꾸준히 재활운동에 참가한 환자는 충격력이 작게 나타났다(1.20 N/kg, 1.13 N/kg, p=0.45). 전방으로의 추진력(anterior propulsion force)과 후방으로의 감속력(posterior braking force)은 통계적으로 유의한 차이(p=0.28, p=0.39)를 나타내지 않았으나 재활운동에 꾸준히 참가한 환자들은 전후방의 힘(0.10 N/kg, 0.15 N/kg; -0.12 N/kg, -0.18 N/kg)이 좋아지는 것을 볼 수 있었다. 걷기 동작 시 환측발의 최대압력분포값은 통계적으로 유의한 차이(p=0.24)는 없었으나 6개월 재활훈련참가자(15.51 N/cm²)가 3개월 재활훈련참가자(13.99 N/cm²) 보다 지면을 더욱 가볍게 밟고 지나가는 것으로 나타났다. 위의 연구결과들을 바탕으로 볼 때 뇌졸중환자들은 꾸준하게 재활운동에 참가하여야 하며 주위 사람들의 관심이 항상 필요하다고 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2008학년도 동의대학교 교내연구비에 의해 연구되었음(2008AA228).

References

- Carr, J. H., and R. B. Shepherd. 1985. Investigation of a new motor assesment scale for stroke patients. *Phys. Ther.* **65**, 175-180.
- Cheng, P. T., M. Y. Liaw, M. K. Wong, F. T. Tang, M. Y. Lee, and P. S. Lin. 1998. The sit-to-stand movement in stroke patients and its correlation with falling. *Arch Phys. Med. Rehabil.* **79**, 1043-1046.
- Frederick, E. C., T. E. Clarke, and C. L. Hamill. 1984. The effect of running shoe design on shock attenuation. In E. C.
- Hur, J. U. 2003. Cerebrovascular disease.
- Jin, Y. W. and Y. S. Kwak. 2008. Biomechanical and physiological comparative analysis of the single-radius knee arthroplasty systems and multi-radius knee arthroplasty systems. *Journal of Life Science* **18**, 1532-1537.
- Ko, M. H., Y. L. Shin, and S. K. Lee. 2008. Rehabilitation of stroke. 7. Press of Jean nam Univ.
- Lafortune, M. A., P. R. Cavana, H. J. commer, and A. Kalenak. 1992. Three dimensional kinematics of the knee during walking. *J. Biomechanics* **25**, 347-357.
- McLeod, K. J., S. D. Bain, and C. T. Rubin. 1990. Dependency of bone adaptation of the frequency of induced dynamic strains. *Transactions of the Orthopedic Research Society* **103**.
- Nigg, B. M., H. A. Bahlsen, S. M. Luethi, and S. Stoke. 1987. The influence of running velocity and midsole hardness of external impact forces in heel-toe running. *J. Biomechanics* **20**, 951-959.
- Nigg, B. N. 1997. Impact forces in running. *Current Option in Orthopedics*. **8**, 43-47.
- Richards, C. L., F. Malouin, F. Dumas, and D. Tardif. 1995. Gait velocity as an outcome measure of locomotion recovery after stroke. In Craik, R. L. and C. Oatis (eds.), *Gait analysis : Theory and Application*. St-Louis : Mosby, 355-364.
- Vanicek, N., S. Strike, L. Mcnaughton, and R. Polman. 2009. Gait patterns in transtibial amputee fallers vs. non-fallers: Biomechanical differences during level walking. *Gait & Posture* **29**, 415-420.
- Vickers, D. R., C. Palk, A. S. McIntosh, and K. T. Beatty. 2007. Elderly unilateral transtibial amputee gait on an inclined walkway: A biomechanical analysis. *Gait & Posture* **27**, 518-529.
- Yang, S. S., 2009. Homepage of sunlin hospital handong university.
- Yu, Y. J. and B. O. Lim. Kinematic Analysis of Rising from a Chair in Healthy and Stroke Subjects. *Korean J. of Sport Biomechanics* **17**, 103-112.