

뇌졸중 환자에서 보행 속도와 근활성도 및 족저압의 상관관계



The Journal Korean Society of Physical Therapy

- 장종성, 이상열, 이명희, 최용원, 이현민¹, 오현주
- 대구대학교 대학원 재활과학과, ¹한국국제대학교 물리치료학과

The Correlations between Gait Speed and Muscle Activation or Foot Pressure in Stroke Patients

Jong-Sung Chang, PT, MS; Sang-Yeol Lee, PT, MS; Myung-Hee Lee, PT, MS; Yong-Won Choi, PT, MS; Hyun-Min Lee, PT, PhD¹, Hyen-Ju Oh, PT, MS

Department of Rehabilitation Science, Graduate School, Daegu University; ¹Department of Physical Therapy, College of Public Health and Natural Science, International University of Korea

Purpose: To examine the correlation between the gait speed and muscle activation or foot pressure in stroke patients.

Methods: Twenty five functionally ambulant stroke patients (male/female: 15/10, mean age: 57.65±2.30) were enrolled in this study. The patients were asked to walk on a plate at a self-selected and comfortable speed. Three walking trials were obtained and then averaged for data analysis. The gait speed and foot pressure were measured from a RS-Scan system. Activation of the quadriceps femoris muscle and biceps hamstring muscle (%RVC) were recorded using ProComp Ininiti™.

Results: There was a significant positive correlation between Hamstring muscle activation (%RVC) and gait speed. The gait speed correlated with the foot pressure of the lateral metatarsal zone (M3-5) in the affected side. There was a correlation between the gait speed and the foot pressure of the lateral metatarsal (M3-5) and heel (medial, lateral) zone in the less-affected side.

Conclusion: The gait speed is related to hamstring muscle activation and the characteristics of foot pressure. This information was observed in both the affected and less-affected sides, suggesting that rehabilitation programs should be implemented on both sides.

Keywords: Foot pressure, Gait speed, Muscle activation, Stroke

논문접수일: 2009년 8월 7일

게재승인일: 2009년 9년 11일

교신저자: 오현주, pthyen@hanmail.net

1. 서론

뇌졸중은 암과 심장병에 이어 3대 사망 원인으로써 유병률은 점점 증가하고 있으며, 의학의 발달로 인하여 생존율은 증가하고 있으나 뇌졸중 생존자는 많은 기능적인 장애를 가지기 때문에 치료를 위한 많은 사회적 비용을 지불하고 있다.¹ 주로 뇌혈관 질환에 의해 발생하는 뇌졸중은 발병 후 손상 초기의 위치나 크기, 정도에 따라 여러 신경학적 결함을 일으키며, 하지의 경우 초기 생존자의 35%에서 정상적인 기능 회복이 어렵고,

20-25%의 환자는 보조기 없이 보행이 불가능한 상태이다.² 또한 뇌졸중 환자는 신체의 불균형, 균형감각 결여, 근력의 불균형, 부적절한 체중 부하, 공동 수축 및 운동 능력의 조절 저하로 인하여 비정상적인 자세를 유지하며, 보행 시 효율성이 떨어진다.^{3,4}

뇌졸중 환자의 보행의 특성은 비대칭적인 체중 지지와 자세와 더불어 족하수, 침족, 전반슬 등이 나타나고,^{4,6} 이에 따라서 체간의 측굴이나 회선 보행 등의 비정상적인 보행이 나타나게 된다. 일반적으로 보행속도가 느려지고, 근수축의 동원 순서와

활성도의 변화로 인하여 에너지 소비가 늘어나 일상생활활동의 범위가 줄어들게 된다.^{7,8} Richards 등⁹은 0.8% 정도의 속도가 되어야 독립적인 생활이 가능하다고 하였으며, Perry 등¹⁰은 뇌졸중 환자의 15.9% 정도 만이 0.8%를 넘어서 대부분의 뇌졸중 환자들이 기능적인 활동을 수행하기 어렵다고 하였다. 뇌졸중 환자의 보행은 정상 보행에 비해서 유각기의 손상측 근력이나 조절 능력이 떨어지고, 특히 슬괵근의 활동 개시와 근력이 약해서 무릎의 굴곡이 부족해지게 되고, 이는 유각기 시작을 어렵게 하여 보행 속도를 느리게 하는 원인이 된다.^{9,10}

보행에 있어서 지지하는 지면과 맞닿는 신체의 유일한 부분인 발은 모든 체중지지를 담당하며, 체간을 이동하기 위해서 추진력을 제공하게 된다. 발의 기저면은 좁아서 직립이나 보행시에 불안정한 상태이고 이를 보완하기 위해서 체간과 하지와 관련된 다양한 근육들의 활성도가 나타나게 된다.¹¹ 보행의 입각기에서 발뒤꿈차발바닥발끝으로 이어지는 진행 과정은 발뒤꿈치로부터 체중이 이동되면서 자연스럽게 발의 회내가 발생하게 되어 지면과의 충격력을 흡수해 주게 된다. 그러나 뇌졸중 환자의 발에서 체중이 이동되는 족저압의 분포를 확인 한 결과 정상인에 비해서 차이가 많이 나타났으며, 체중지지가 내측보다는 외측으로 이동되는 것으로 확인되었고, 족저압이 정상 성인보다 낮게 나타나서 추진력을 감소시켜서 보행 속도를 떨어뜨리는 원인이 된다.^{12,13}

뇌졸중 환자에게서 나타나는 여러 가지 보행의 특성에 관한 연구들은 보행 패턴이나 보행 속도를 정상인과 비교하는 것들이 대부분이며, 뇌졸중 환자의 보행 속도에 영향을 미치게 되는 근육의 활성도나 족저압과의 관계에 관한 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 뇌졸중 환자의 보행 속도와 근활성도 및 족저압의 상관관계를 확인하여 뇌졸중 환자의 효율적인 보행을 위한 치료의 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 뇌 단층화 촬영(CT)이나 자기공명영상(MRI)에 의해 뇌졸중으로 진단된 6-12개월의 환자들 중 본 연구의 취지를 이해하고 참여하겠다고 동의서를 작성한 환자를 대상으로 하였다.

본 연구에 참여한 대상자의 선정 기준은 뇌 단층화 촬영(CT)이나 자기공명영상(MRI)에 의해 편측 뇌손상으로 확인된 자, 실험에 영향을 줄 수 있는 근골격계 질환이 없으며 균형에 영향을 주는 약물이나 알코올을 섭취하지 않은자, 감각 검사를 통하여 감각 기관에 이상이 없는 자, 언어 이해 능력에 장애가 없고, 지시하는 내용을 이해하고 따를 수 있는 자로 한국형 간

이정신상태 판별검사(MMSE-K)에서 연령과 교육 수준을 고려한 점수가 최소 24점 이상인 자, 강직이나 경직, 관절구축, 관절가동범위의 제한 등 운동 기능에 제한이 없는 자, 보행 보조 도구 없이 10m 독립 보행이 가능한 환자로 제한하였다.

2. 실험방법

1) 측정도구

(1) 근활성도

하지의 근활성도를 측정하기 위해 ProComp Infiniti™ (Thought Technology Ltd, 캐나다)를 이용하였다. 측정하기 전 알코올을 이용하여 전극부착 부위의 피부를 닦고 면도를 한 후 측정하고자 하는 근육에 전극을 부착하였다. 전극은 3극(Positive-Ground-Negative)으로 이루어진 표면전극(Triode surface electrode, Thought Technology Ltd, 캐나다)을 사용하였다. 측정된 근전도 신호를 신호획득률(sampling rate) 1024Hz로 수집 후, 완파정류(full-wave rectification) 처리를 하고, 실효치(RMS, root mean square)를 계산하여 컴퓨터 파일로 저장하였다. 자료처리를 위해서 Biograph Infiniti 소프트웨어를 이용하여 20~500Hz 사이에서 구간 필터링(band pass filtering)하여 처리하였다.

(2) 족저압

본 연구에서 정상 성인과 편마비 환자의 환측과 건측의 족저압력 차이를 알아보기 위하여, 보행 시 입각기 동안 가해지는 족저 압력을 측정하기 위해 2m 길이의 Plate형태인 RS-scan system(RS scan Ltd, 독일)을 사용하였다. RS-scan system은 2m의 Plate 위를 보행하는 동안 보행의 분석과 영역별 최고 압력, 최고 힘 그리고 체중 이동 경로를 분석하는 장비이다.¹⁴ 족저 영역은 10개(T1(Toe 1), T2-5(Toe 2-5), M1(Metatarsal 1), M2(Metatarsal 2), M3(Metatarsal 3), M4(Metatarsal 4), M5(Metatarsal 5), MF(Midfoot), HM(Heel medial), HL(Heel lateral))로 나누어져 있으며, 각각의 영역은 다음 그림과 같다(Figure 1). 보행 시 압력 분포는 RS-scan system의 상용 프로그램인 footscan 7 gait 2nd generation을 이용하여 126 frame/sec로 자료를 수집하였다.

2) 실험절차

정확한 족저 압력을 측정하기 위해 보행 시작 전 대상자의 체중을 측정하여 프로그램에 입력하고, RS-scan system 압력 측정판 위에서 움직임 없이 양 발로 서도록 하여 각 대상자의 체중을 보정하였다. 대상자의 보행 속도는 개인이 선호하는 속도로 대상자의 편안한 보행을 위해서 압력 측정판과 같은 높이로 지면을 편편하게 만들어 여러 번 보행을 반복하였다. 2m의 족

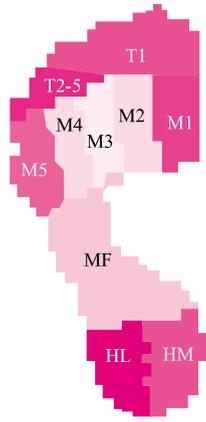


Figure 1. 10 areas of foot pressure

저 압력 판 위를 통과할 때 자료 처리를 위해 뇌졸중 환자는 2 번째 보행 주기 동안 나타나는 건측과 환측의 압력 값을 측정하였다. 각각의 조건에서 측정은 3회 실시하여 평균값을 사용하였다.

근육 활성도는 족저 압력을 측정하는 동안 동시에 측정하였으며, 보행을 하는 동안 보행의 속도에 크게 영향을 미치는 슬괵근과 대퇴사두근에 근전도 패드를 부착하였다. 표면 전극의 위치는 슬괵근은 좌골결절로부터 15cm 아래쪽 대퇴이두근의 내측에 위치한 근복에 부착하였다. 대퇴사두근은 전상장골극과 슬개골의 위쪽 가장자리 사이의 중간 부위에 부착하였다. 측정된 근육의 근전도 신호량은 근전도 신호의 실질적인 출력값에 가까운 값을 제공하는 RMS값을 취하여 자발적 기준 수축(reference voluntary contraction, RVC)값으로 나누어 백분율로 환산한 값인 %RVC 값을 사용하였다.

3. 자료분석

수집된 자료는 평균 및 표준 오차로 제시하였고, SPSS 12.0을 이용하여 통계 처리하였다. 건측과 환측의 발목 움직임과 족저 압의 비교를 위해서 독립표본 ttest를 이용하였다. 보행 속도와 근활성도 및 족저압의 관련성을 관찰하기 위해 피어슨 상관분석(Pearson correlation coefficient)을 시행하였으며, 모든 통계학적 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

III. 결과

1. 연구대상자의 일반적 특성

연구대상자들의 일반적 특성은 Table 1과 같다. 본 연구에 참여한 대상자는 25명으로 평균연령 57.65세, 유병 기간이 평균 9.37개월이고, 성별은 남자 15명, 여자 10명이었고, 우측 뇌손

상 11명, 좌측 뇌손상 14명이었으며, 뇌경색이 14명, 뇌출혈이 11명이었다.

2. 뇌졸중 환자의 보행 시에 환측과 건측의 근활성도, 발 움직임, 족저압 분포 비교

뇌졸중 환자의 환측 대퇴사두근의 근활성도는 688.94 ± 721.89 이었고, 슬괵근은 1079.29 ± 1911.97 이었다(Table 2). 발의 움직임은 환측과 건측에 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$)(Table 1). 족저압의 경우 환측과 건측을 비교한 결과, Toe 2-5, Metatarsal 2, Metatarsal 3, Midfoot에서 유의한 차이가 있었으나($p<0.05$), 그 외의 부위에서는 유의한 차이가 없었다($p>0.05$)(Table 2).

Table 1. General characteristics of subjects

Classification	Subject (n=25)
Number of individuals (Male / female)	15 / 10
Age (Mean \pm SE)	57.65 \pm 2.30
Time since onset (Months)	9.37 \pm 2.71
Lesion side (Right / Left)	11 / 14
Lesion type (Infarction / Hemorrhage)	14 / 11

3. 뇌졸중 환자의 보행 속도와 환측과 건측의 근활성도, 발 움직임과 족저압의 상관관계

뇌졸중 환자의 보행 속도에 따른 근활성도는 슬괵근에서 통계학적으로 유의한 상관관계를 나타내었고($p<0.05$), 족저압에서는 환측에서 Metatarsal 3, 4, 5, 건측에서 Metatarsal 3, 4, 5, Heel의 내외측에서 통계학적으로 유의한 상관관계를 나타내었다($p<0.05$)(Table 3). 보행 속도와 발의 움직임과 그 외의 족저압에서는 통계학적으로 유의한 상관관계가 관찰되지 않았다($p>0.05$)(Table 3).

IV. 고찰

뇌졸중 환자에서 보행 분석은 독립적인 생활을 판단하는데 중요한 역할을 하고, 보행 형태, 기능적인 회복, 치료의 가이드와 회복의 상태를 기록하는데 효과적이다. 보행은 일상생활활동을 독립적으로 수행하기 위한 중요한 능력이기 때문에 효과적인 보행 능력을 유지하는 것은 매우 중요하며, 특히 보행의 속도는 일상생활활동의 범위를 증가시키고, 효율적인 과제 수행에 도

Table 2. Comparison of EMG, foot motion and foot pressure in affected and less-affected side in stroke patients

		Affected side	Less-affected side	P
GS		0.59 ± 0.43		
EMG (%RVC)	Hm	688.94 ± 721.89		
	Qm	1079.29 ± 1911.97		
Foot motion	TOA	18.73 ± 13.41	18.06 ± 6.26	0.82
	SJF	8.93 ± 8.18	12.88 ± 8.00	0.09
Foot pressure	Toe 1	19.88 ± 19.37	23.63 ± 19.62	0.50
	Toe 2-5	2.97 ± 4.30	9.00 ± 10.74	0.01*
	Metatarsal 1	12.44 ± 16.39	17.49 ± 19.21	0.32
	Metatarsal 2	14.50 ± 12.24	30.61 ± 24.95	0.01*
	Metatarsal 3	18.69 ± 13.22	36.69 ± 27.86	0.01*
	Metatarsal 4	17.29 ± 17.06	29.25 ± 28.13	0.08
	Metatarsal 5	10.24 ± 13.53	16.72 ± 19.68	0.18
	Midfoot	8.05 ± 4.97	12.46 ± 7.81	0.02*
	Heel medial	29.03 ± 25.34	37.23 ± 30.77	0.31
	Heel lateral	26.06 ± 18.94	34.75 ± 26.67	0.19

GS: Gait speed, Qm: Quadriceps femoris muscle, Hm: Hamstring muscle, TOA: Toe out angle, SJF: Subtalar joint flexibility
* <0.05

Table 3. Correlation between gait speed and foot motions or foot pressure of affected and less-affected side on gait

		Gait speed	
		Affected side	Less-affected side
EMG (%RVC)	Hm	0.42*	
	Qm	0.11	
Foot motion	TOA	0.06	0.11
	SJF	-0.00	-0.04
Foot Pressure	Toe 1	0.05	0.07
	Toe 2-5	0.38	-0.15
	Metatarsal 1	0.35	-0.07
	Metatarsal 2	0.33	0.32
	Metatarsal 3	0.40*	0.75*
	Metatarsal 4	0.49*	0.63*
	Metatarsal 5	0.66*	0.53*
	Midfoot	-0.07	0.10
	Heel medial	0.19	0.47*
	Heel lateral	0.35	0.42*

Qm: Quadriceps femoris muscle, Hm: Hamstring muscle, TOA: Toe out angle, SJF: Subtalar joint flexibility
* <0.05

움이 된다.¹⁵ 그러나 뇌졸중 환자의 보행의 특성은 건측에 비해 환측에서 부적절한 협조성, 짧은 보장, 긴 지지 시간과 짧은 유각기의 형태를 보인다.^{16,17} 뇌졸중 환자는 좌우 불균형적인 보

행을 하며 좌우의 균형을 유지하는 것은 보행의 개선을 의미한다고 할 수 있다.¹⁸ 또한 뇌졸중 환자의 기능적 활동을 증진시키기 위해서 보행 속도는 중요한 요소 중에 하나이다. 본 연구에서는 보행 시 나타나는 보행 속도에 따른 보행의 특성에 대한 상관관계를 알아보기 위해서 근전도와 족저압을 측정하여 보행 속도에 따른 대퇴의 근활성도와 족저압의 분포를 관찰하였다.

일반적으로 정상인의 보행은 잘 조화되고 신체 중심이 전방으로 부드럽게 이동되지만, 뇌졸중 환자의 보행 양상은 환측에 경직성 마비가 나타나서 전유각기에서 골반을 올리고 유각기에서는 고관절이나 슬관절의 굴곡이 적절하지 않아서 골반의 회선 보행이 나타난다.⁶ 또한 입각기 시의 압력 중심의 이동은 입각기 초기 발뒤꿈치의 후외측에서 시작하여 발의 중간영역에서부터 점점 내측으로 이동하여 입각기가 끝날 때 첫 번째와 두 번째 발가락으로 이동하게 되는데, 뇌졸중 환자의 경우 마비측의 체중 부하를 적절하게 시키지 못하고, 무게 부하를 지탱하지 못하며, 환측 근육의 불균형으로 인하여 발의 외측 모서리와 전족부로 체중지지가 되는 것을 알 수 있다.¹⁹ 본 연구에서도 보행 시 좌우의 족저압의 분포에서 차이가 있어서 비대칭적인 보행의 양상을 확인 할 수 있었으며, 압력 분포가 건측과 환측 모두에서 발의 중간영역에서 외측으로 많이 이동되는 것을 확인 할 수 있었다.

Brandstater 등²⁰의 연구에서 Brunnstrom의 회복 단계의 3 단계 환자에서 0.16%, 6단계 환자에서 0.65%를 보였고,

Kim²¹의 연구에서도 뇌졸중 환자의 평균 보행 속도가 0.53m/s로 나타나서, 본 연구에서도 0.59m/s의 평균 보행 속도를 보였다. 뇌졸중 이후 보행 능력의 증진을 위한 지속적인 치료에도 불구하고 보행 속도가 느린 것으로 보였고, 임상에서 보행 속도를 증가시키기 위해서 노력하는 것이 강직을 유발 할 수 있어 대칭적인 보행이나 보행의 질적인 면을 환자 치료에 있어서 더 강조하기 때문이다.

정상 보행에 있어서 슬딕근의 역할은 전유각기(preswing)에서 추진력을 제공하게 되고, 초기 유각기 동안에 슬관절을 굴곡시켜서 보행 속도를 증가시키며, 말기 유각기에서는 원심성 수축을 통하여 슬관절의 신전 각도를 조절하여 보행 속도를 적절하게 조절하게 된다.⁶ Kim²¹은 뇌졸중 환자에게 유각기 동안 환측의 슬딕근 역할을 보조하는 슬관절 굴곡 보조기를 이용하여 뇌졸중 환자의 보행 속도가 0.53m/s에서 0.64m/s로 증가하였다고 보고하였다. 본 연구에서 보행 속도와 하지 근육의 근활성도와의 상관관계에서 슬딕근의 근활성도와 양의 상관관계를 보였다. 임상에서 환자의 치료를 위해서 주로 족관절의 배측굴곡근에 초점이 맞추어져 있고, 보행의 속도에 관련이 있는 근육의 근력 강화에 관심이 부족하다. 따라서 뇌졸중 환자의 기능적인 독립과 일상생활동작을 효율적으로 수행하기 위해서 슬딕근의 근력 강화나 보행 속도의 증진을 위한 방안에 대해서도 고려해야 한다.

본 연구에서 보행의 속도와 족저압과의 상관관계를 확인 한 결과, 환측에서는 속도에 따라 족저압력의 분포가 중족골의 외측으로 증가하였고, 건측에서도 뒤꿈치와 중족골의 외측으로 증가하는 양상이 나타났다. 이는 뇌졸중 환자에서 보행 속도가 증가함에 따라 체중의 분포가 전외측으로 이동하는 연구들과 같은 결과를 보였고,^{13,22} 보행의 속도에 따라서 체중의 분포가 건측에서 외측으로 분포하는 것은 환측의 부적절한 발목 배측 굴곡, 슬관절 굴곡, 고관절 굴곡 등의 근력이 약해서 회선 보행이나 체간을 외측 굴곡시킴으로써 환측 발이 끌리는 것을 방지하는 보상 작용에 의해서 나타나게 되고, 환측에서 외측으로 분포하는 것은 부적절한 뒤꿈치 지지나 발의 안정성, 부적절한 족관절과 발의 근육들의 활성화에 의해서 나타나게 된다. 또한 건측은 보행 속도의 증가에 따라 뒤꿈치의 족저압 분포가 증가하였으나 환측에서는 뒤꿈치 닿기 동작이 잘 나타나지 않았으며, 중간 입각기 이후에 발가락으로 지면을 미는 동작이 잘 나타나지 않는 것으로 보였다.

Yoon 등¹³은 뇌졸중 환자와 정상 성인과의 족저압 분포 비교를 통해서 정상 성인에 비해서 환측과 건측 모두에서 병리적인 보행 패턴이 나타났으며, 이러한 현상은 손상과 적응이라는 개념에 의해서 설명이 된다.²³ 환측은 손상에 의해서 차이가 발생하게 되지만 건측의 경우에는 손상 후 적응을 하면서 정상

과는 다른 형태로 적응하게 되는 것을 의미한다.¹⁷

따라서 본 연구에서는 뇌졸중 환자의 일상생활활동의 제한점을 해결하기 위해서 보행의 속도의 증가가 필요하게 되는데, 보행 속도의 증가를 위한 슬딕근을 포함한 하지의 근육의 근력 강화 및 적절한 타이밍의 근육 동원이나 활성화를 위한 훈련이 필요하고, 환측 뿐만 아니라 건측의 비정상적인 체중 분포 및 보상 작용에 대해서 좀더 세밀한 평가를 통해서 뇌졸중 환자의 보행 치료에 있어서 양과 질의 증진을 제공할 수 있는 기초 자료가 될 것으로 생각된다. 이 연구를 바탕으로 뇌졸중 환자에서 좀더 다양한 보행 속도, 근육의 평가가 필요하며, 비효율적인 동작을 분석할 수 있는 연구가 계속되어야 할 것으로 생각된다.

V. 결론

본 연구에서는 뇌졸중 환자의 보행 속도와 근활성도 및 족저압의 상관관계를 확인하여 뇌졸중 환자 보행의 특성을 알아보고자 하였다. 본 연구의 결과 뇌졸중 환자의 건측과 환측의 족저압의 불균형을 확인 할 수 있었고, 보행 속도의 증가에 따라 슬딕근의 근활성도 및 환측과 건측의 족저압이 중족골의 외측으로의 분포가 증가되는 것을 알 수 있었다. 따라서 뇌졸중 환자의 보행 치료에 있어서 적절한 속도와 슬딕근의 근력 강화와 발과 발목에서의 안정성에 더욱 세심한 관심을 가지게 된다면 보다 효율적인 보행의 형태가 될 것으로 생각된다.

Author Contributions

Research design: Chang JS, Lee SY

Acquisition of data: Lee MH, Choi YW, Lee HM

Analysis and interpretation of data: Oh HJ, Lee MH

Drafting of the manuscript: Chang JS, Lee SY

Research supervision: Oh HJ

참고문헌

1. American Heart Association. Heart disease and stroke statistics 2008 update: A report from the american heart association statistics committee and stroke statistics subcommittee. *Circulation*. 2008;117:e25-e146.
2. Hendricks HT, van Limbeek J, Geurts AC et al. Motor recovery after stroke: A systematic review of the literature. *Arch Phys Med Rehabil*. 2002;83(11):1629-37.
3. An SH, Lee YM, Yang KH. Effectiveness of gait training using an electromechanical gait trainer combined with

- simultaneous functional electrical stimulation in chronic stroke patients. *J Kor Soc Phys Ther.* 2008;20(1):41-7.
4. Jorgensen L, Crabtree NJ, Reeve J et al. Ambulatory level and asymmetrical weight bearing after stroke affects bone loss in the upper and lower part of the femoral neck differently: Bone adaptation after decreased mechanical loading. *Bone.* 2000;27(5):701-7.
 5. Kim MS, Hwang BY, Kim JH. The effect of modified golf swing training on walking pattern in patient with hemiplegia - a case study. *J Kor Soc Phys Ther.* 2009;21(1):89-96.
 6. Perry J. *Gait analysis: Normal and pathological function.* New Jersey, Slack, 1992.
 7. Chu KS, Eng JJ, Dawson AS et al. Water-based exercise for cardiovascular fitness in people with chronic stroke: A randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004;85(6):870-4.
 8. Kim WH. The effects of clinical characteristics of chronic stroke patients on physiological cost index during walking. *J Korean Acad Rehab Med.* 2006;13(1):32-7.
 9. Richards CL, Malouin F, Dean C. Gait in stroke: Assessment and rehabilitation. *Clin Geriatr Med.* 1999;15(4):833-55.
 10. Perry J, Garrett M, Gronley JK et al. Classification of walking handicap in the stroke population. *Stroke.* 1995;26(6):982-9.
 11. Aruin AS, Latash ML. Directional specificity of postural muscles in feed-forward postural reactions during fast voluntary arm movements. *Exp Brain Res.* 1995;103(2):323-32.
 12. Winter DA. Biomechanics of human movement with applications to the study of human locomotion. *Crit Rev Biomed Eng.* 1984;9(4):287-314.
 13. Yoon HW, Lee SY, Lee HM. The comparison of plantar foot pressure in normal side of normal people, affected side and less affected side of hemiplegic patients during stance phase. *J Kor Soc Phys Med.* 2009;4(2):87-92.
 14. Blanc Y, Balmer C, Landis T et al. Temporal parameters and patterns of the foot roll over during walking: Normative data for healthy adults. *Gait Posture.* 1999;10(2):97-108.
 15. Chen CP, Chen MJ, Pei YC et al. Sagittal plane loading response during gait in different age groups and in people with knee osteoarthritis. *Am J Phys Med Rehabil.* 2003;82(4):307-12.
 16. Lindmark B, Hamrin E. Relation between gait speed, knee muscle torque and motor scores in post-stroke patients. *Scand J Caring Sci.* 1995;9(4):195-202.
 17. Wong AM, Pei YC, Hong WH et al. Foot contact pattern analysis in hemiplegic stroke patients: An implication for neurologic status determination. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004;85(10):1625-30.
 18. Wall JC, Turnbull GI. Gait asymmetries in residual hemiplegia. *Arch Phys Med Rehabil.* 1986;67(8):550-3.
 19. de Haart M, Geurts AC, Huidekoper SC et al. Recovery of standing balance in postacute stroke patients: A rehabilitation cohort study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004;85(6):886-95.
 20. Brandstater ME, de Bruin H, Gowland C et al. Hemiplegic gait: Analysis of temporal variables. *Arch Phys Med Rehabil.* 1983;64(12):583-7.
 21. Kim WH. The effect of walking aid on chronic hemiplegic gait. *J Korean Acad Rehab Med.* 2006;13(3):67-74.
 22. Park JW, Nam KS, Back MY. The relationship between the plantar center of pressure displacement and dynamic balance measures in hemiplegic gait. *J Korean Acad Rehab Med.* 2005;12(1):11-21.
 23. Hermens HJ, deWaal CA, Buurke J et al. A new gait analysis system for clinical use in a rehabilitation center. *Orthopedics.* 1986;9(12):1669-75.