

편마비 환자의 보행시작 시 총 압력중심 변화 : 사전연구

황선홍¹, 박선우¹, 최희석¹, 김영호^{1,2}

¹연세대학교 대학원 의공학과, ²연세의료공학연구원

Net Center of Pressure Analysis during Gait Initiation in Patient with Hemiplegia : a pilot study

S. H. Hwang¹, S. W. Park¹, H. S. Choi¹, Y. H. Kim^{1,2}

¹Dept of Biomed. Eng., Graduate School, Yonsei Univ.

²Institute of Medical Eng., Yonsei Univ.

(Received August 3, 2009. Accepted February 8, 2010)

Abstract

Gait initiation is a transitional process from the balanced upright standing to the beginning of steady-state walking. Dysbalanced gait initiation often causes stroke patients to fall. The net center of pressure, measured by two triaxial force plates from twenty healthy subjects and two stroke patients, was investigated to assess asymmetry of gait initiation in hemiparetic subjects. The time interval and distance of the net center of pressure(CoP) moved from the initiation point to the toe off(S1) and from the toe off to the initial contact(S2) were calculated during gait initiation of normal and stroke patients. When the patient with right hemiplegia(A) initiated his gait with right foot, the time interval and the distance of the net CoP in S1 and S2 were smaller than that of normal subjects' values. However, he initiated the gait with left foot(unaffected side) the time interval and the distance of net CoP in S1 were larger than normative values. Differently, the patient with left hemiplegia(B) has shown that larger time interval and distance in S1 and smaller time interval and distance in S2 in both sides. His asymmetry(with which side the gait initiated) was not significant. It is too early to conclude that these results could be general characteristics of the stroke patients because the variations were large and moreover, the level of motor recovery of the patients was different. However, it is expected that these trials could help to set up the strategy of the therapy for the rehabilitation or prevention of fall in stroke patients.

Key words : Net Center of Pressure, Gait Initiation, Hemiplegia

1. 서론

낙상은 근력과 유연성 부족, 자세 불안정, 균형이상, 인지반응 문제 등으로 인해 발생한다[1]. 빈번한 낙상은 신체활동의 감소를 가져오고 결국에는 생명에도 영향을 미치는 매우 위험한 요인이다[2]. 일반 재활병동에서 낙상의 가장 위험한 질환군이 뇌졸중환자이며 편마비 환자가 전체 낙상 환자의 35%로 가장 높은 비율을 차지한다고 발표되었다[3,4]. 편마비 환자의 경우 몸의 한쪽 근육들이 다른 쪽에 비해 수축 혹은 이완 능력이 현저히 떨어

지고 적절한 타이밍에 원활히 조절이 되지 않으며 단계적 근육활동의 조절이 부적절하다. 이러한 편마비 환자의 자발적 근육수축 능력, 근육의 활성 조절, 지각 및 인지능력의 저하 및 비대칭성은 주로 첫 발을 내딛는 보행 시작 과정에서 나타나 낙상으로 이어지게 된다[5,6].

보행의 시작(gait initiation)은 정적 기립 상태(standing)에서 걷기(walking)의 동적인 상태로 옮겨가는 과정이다. 우리가 미처 인식하지 못하고 있지만 정상상태 보행(steady-state walking) 이전에 보행 시작 부분이 존재하며 이 단계에서 몸의 균형을 적절히 조절하여야만 정상 보행이 가능하다. 보행 시작은 수많은 신경과 생체역학적인 힘의 복합적인 통합에 의해 이루어진다[6]. 정적기립 상태에서 지면반발력의 작용으로 모멘트가 관절에 작용하며 이때 체중심의 안정적인 균형은 각 관절의 주동근과 길항근의 상호 작용에 의해 유지된다[7,8]. 이러한 작용과 관련된 요소들 중 어느

Corresponding Author : 김영호
(220-710) 강원도 원주시 풍업면 매지리 234
연세대학교 첨단 의료기기 테크노타워 204호
Tel : +82-33-760-2859 / Fax : +82-33-760-2859
E-mail : younghokim@yonsei.ac.kr
본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업과 지식경제부(MKE) 한국산업기술진흥원(KIAT)의 지역산업신도기술개발사업의 지원에 의한 것임.

하나라도 문제가 발생되면 보행시작에 이상이 나타나며 몸의 균형 유지가 어렵게 된다.

Marketta Henriksson은 전경골근(tibialis anterior)와 외측 비복근(lateral gastrocnemius)의 근전도, 지면반발력과 보폭을 측정하여 젊은이와 노인의 보행 시작을 비교하였으며[9], Sandhiran Patchay는 어떤 자세로 보행시작을 할 때 하지에 더 큰 무게를 실어주는지 지면반발력과 총 압력중심의 변위를 측정하여 연구하였다[10]. Carrie Stackhouse는 뇌성마비를 갖고 있는 어린이들의 보행 시작을 연구하기 위해서 지면반발력과 근육의 활성화를 측정하였고[11], A. Delval은 지시를 준 후에 하는 보행 시작과 자발적으로 출발 한 경우의 보행 시작이 어떠한 차이를 보이는지를 연구하였다[12]. 이처럼 보행 시작에 대해서는 총압력 중심(Net CoP; Net Center of Pressure), 하지 근육의 근전도, 하지 관절의 운동형상학적, 운동역학적 요소들을 분석하는 연구가 많은데, 최근에는 총 압력중심과 체중심을 분석하는 연구가 많이 이루어지고 있다[6-14]. Hesse 등은 이러한 보행시작에 대한 생체역학적 분석을 편마비 환자를 대상으로 하여 비대칭성을 분석한 연구를 발표하였다[14].

본 연구에서는 정상 성인을 대상으로 하여 정상 보행시작 시 총 압력중심의 이동을 분석하여 보고 이를 기준으로 보행속도가 다른 두 편마비 환자의 보행시작 시 총 압력중심의 이동을 비교분석 함으로써 편마비 환자의 비대칭성을 정량적으로 평가해 보고자 하였다.

II. 연구방법

A. 피검자

20명의 정상 성인 남성(평균나이 24.6±2.0세, 평균신장 174.2±4.5cm, 평균체중 70.3±5.8kg)을 대상으로 하여 정상 보행시작 시 움직임 분석 및 총 압력중심의 이동을 분석하였다. 또한, 마비측과, 보행속도가 다른 두 명의 50대 남성 편마비 환자를 대상으로 하여 편마비환자의 보행시작 시 움직임과 총 압력중심의 이동을 분석하였는데 두 편마비 환자의 신체 정보와 보행의 시공간 척도 등은 표 1과 같다. 실험에 참여한 정상군과 환자군 피검자들 모두에게 실험의 순서와 방법을 자세히 설명하였고, 실험 참여에 동의한다는 동의서를 받았다.

B. 실험장비 및 방법

정적 기립 상태에서 보행을 시작하여 정상상태 보행(steady-state walking)에 이르는 과정을 측정하기 위해 여섯 대의 적외선 카메라(near infra-red camera)와 네 개의 힘측정판(2 AMTI force platforms, Watertown, MA, USA, 2 Kistler force platforms, Switzerland), 근전도 시스템(MA 300, Motion Lab., USA)을 삼차원 동작분석시스템(VICON 612 Motion Analysis System, Oxford Metrics, UK)에 동기화하여(synchronize) 사용하였다.

관절의 삼차원 움직임 분석을 위하여, 그림 1과 같이 피실험자의 위앞엉덩뼈가시(anterior superior iliac spine), 위뒤엉덩뼈가시(posterior superior iliac spine), 대퇴(thigh), 무릎관절, 정강뼈(tibia), 발목관절의 가쪽복사뼈(lateral malleolus), 둘째 발허리머리(second metatarsal head), 발뒤꿈치(heel) 등의 해부학적 위치에 16개의 14mm 반사 마커(reflective marker)를 Davis 프로토콜에 따라 부착하여 하지관절의 운동을 관찰하였고, 총 압력중심의 이동은 4개의 힘측정판에서 지면반발력 데이터를 획득하여 상용프로그램인 MATLAB 6.5(Mathworks Inc., USA)를 이용하여 계산하였다.

실험은 피실험자를 힘측정판 위에 서게 한 후, 정적인 상태가 안정이 되면 지시 없이 자발적으로 원하는 시점에, 원하는 속도로 보행을 시작하도록 하였다. 다만, 환측인 우측 하지로 보행을 시작한 경우와 건측인 좌측 하지로 보행을 시작한 경우로 나누어 어떤 하지를 먼저 내딛어야 할지 알려준 상태에서 실험을 실시하였다. 이때 먼저 내딛는 발을 이끄는 하지(LL; Leading limb), 반대측 발을 따르는 하지(TL; Trailing limb)로 정의하였다.

C. 총 압력중심

두 발이 지면에 닿는 양하지 지지기(double limb support period)의 경우 해당되는 두 개의 힘 측정판에서 측정된 데이터를 이용하여 아래와 같이 총 압력중심을 구할 수 있다[7].

표 1. 편마비 환자 정보

Table 1. Patients' information

구분	환자 A	환자 B
나이(세)	52	49
신장(cm)	167.3	167.2
체중(kg)	71.9	73.2
유병기간(개월)	20	25
손상측	우측	좌측
보행속도(steps/min)	우 : 51.0 / 좌 : 48.6	우 : 65.81 / 좌 : 64.42
보장(m)	우 : 0.20 / 좌 : 0.26	우 : 0.37 / 좌 : 0.31
발들림 시기(%)	우 : 68.03 / 좌 : 83.91	우 : 75.81 / 좌 : 60.32

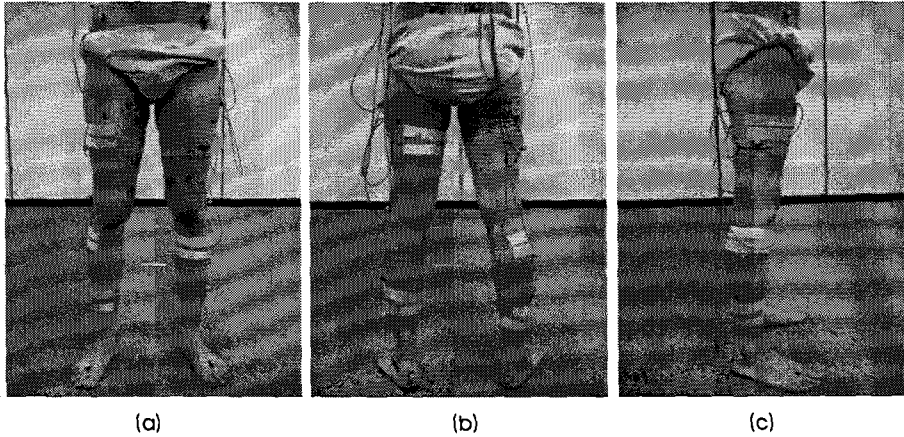


그림 1. 반사마커 부착 모습 정면(a), 후면(b), 측면(c)
 Fig. 1. Reflective marker placement, front(a), back(b), side(c)

$$COP_{t(x,y)} = COP_{LL(x,y)} \frac{F_{z,LL}}{F_{z,LL} + F_{z,TL}} + COP_{TL(x,y)} \frac{F_{z,TL}}{F_{z,LL} + F_{z,TL}}$$

COPLL(x,y) ; 이끄는 하지(LL)측 힘측정판의 압력중심
 COPTL(x,y) ; 따르는 하지(TL)측 힘측정판의 압력중심
 Fz,LL ; 이끄는 하지(LL)측 지면 반발력 수직성분
 Fz,TL ; 따르는 하지(TL)측 지면 반발력 수직성분

보행을 시작하여 걸어가는 동안에는 양하지 지지기와 단하지 지지기(single limb support period)가 교차하여 하나의 보행주기를 구성하게 되는데 단하지 지지기에는 해당되는 힘 측정판에서의 압력중심 위치가 총 압력 중심 위치이며 양하지 지지기에서 총 압력 중심은 양측 힘 측정판에서 측정된 압력값(위치)과 지면반발력 값을 위의 식에 대입하여 계산할 수 있다. 공간 설정에 있어서 X축 방향을 전후 방향(Anterior-posterior)으로 정의하였고 Y축 방향을 내외 방향(Medial-Anterior)으로 정의했다. Z축은 지면 반발력의

작용 축과 동일하다.

보행시작 시 압력중심 변화의 시작점(Onset; Onset point)은 지면 반발력 값이 정적인 상태 지면반발력 평균값에서 편차의 두 배 이상 변화할 때로 정의하였다.

D. 정상인의 보행시작 시 총 압력중심 변화

그림. 2는 정상인의 보행 시작 시 총 압력중심 궤적을 나타낸다. 총 압력중심은 Onset에서 LL측 후방으로 최대로 이동하여 꼭지점(point 1)을 보인 후 TL쪽으로 이동한다. 이는 발을 들기 전 지면을 박차는 기전에 의한 초기 CoP의 움직임으로 분석된다. 이후 LL의 발가락 들림과 초기접지 사이에 CoP는 TL측 후방으로 이동하여 point 2에 이른다. LL의 첫 번째 초기접지 직전에 CoP는 TL측으로 최대로 이동하여 마지막 꼭지점(point 3)을 보인 후 정상상태 보행동안 계속 사인과 형태의 이동궤적을 보이게 된다.

편의상 Onset에서부터 발가락 들림(TO : Toe Off)까지의 구간을 구간1(S1), TO에서부터 초기접지(IC : Initial Contact)까지의

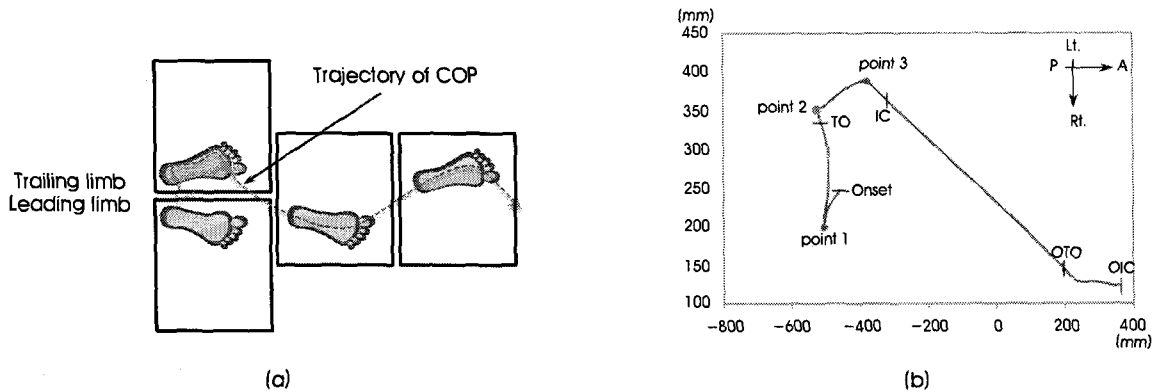


그림 2. 보행시작 시 힘 측정판 위치와 CoP 궤적(a), 따르는 하지(TL) 초기접지(OIC)까지 CoP궤적(b)
 Fig. 2. Forceplates location and CoP Trajectory(a), CoP trajectory until the TL initial contact(b)

표 2. 정상인 및 편마비환자 보행시작 시 각 구간별 평균 걸린 시간 및 거리
 Table 2. The mean values of time interval and distance during gait initiation in stroke patients

param.	section	Normative	LL (Patient A)		LL (Patient B)	
			Affected (Rt.)	Unaffected (Lt.)	Unaffected (Rt.)	Affected (Lt.)
time (s)	S1	0.50(0.07)	1.23(0.90)	0.91(0.16)	2.17(0.36)	2.93(0.47)
	S2	0.45(0.05)	0.90(0.17)	0.27(0.02)	0.67(0.10)	0.28(0.10)
distance (mm)	S1	242.73(18.08)	101.44(8.37)	167.72(16.05)	333.45(2.47)	329.96(8.96)
	S2	226.36(25.75)	31.15(4.59)	20.59(4.09)	85.89(13.78)	90.23(7.49)
speed (mm/s)	S1	485.46	82.47	184.31	153.66	112.61
	S2	503.02	34.61	76.26	128.19	322.25

구간을 구간2(S2)로 정의하여 이 구간동안 CoP가 이동한 거리와 시간을 계산하였다. 정상인 및 환자의 보행시작 시 S1과 S2에서 걸린 시간과 거리, 속도는 표 2와 같다.

III. 결 과

A. 편마비 환자의 보행특성

삼차원 동작분석을 통하여 측정된 두 환자의 보행에 대한 시공간적 변수는 표 1과 같다. 우측이 환측인 환자 A의 경우 우측과 좌측의 보행 속도는 각각 분당 51.0, 48.6 걸음이었고, 좌측이 환측인 환자 B의 경우 우측, 좌측 보행 속도가 각각 분당 65.81, 64.42 걸음으로 환자 B의 보행속도가 조금 더 빨랐다. 보장의 길이도 환자 B가 우측 0.37, 좌측 0.31 미터로 환자 A의 우측 0.20, 좌측 0.26 보다 더 컸다. 발들림 시기의 경우는 환자 A는 우측 발이, 환자 B는 좌측발 - 모두 환측 - 이 정상에 더 가까웠다. 육안적 보행 분석에서는 두 환자 모두 회선보행(circumduction gait)과 큰 좌우 동요(sway)를 관찰할 수 있었다.

B. 편마비 환자의 보행시작 시 총 압력중심 변화

그림 3 (a), (b)은 각각 LL이 환측일 때와 LL이 건측일 때 편마비환자 A의 보행시작 시 CoP 궤적을 나타낸다. LL이 환측일 때 CoP 궤적의 가장 큰 특징은 Onset 이후 나타나는 첫 번째 이정표(landmark)인 point 1이 나타나지 않은 것과 point 3이 TL측 가장 외측 전방에 나타나는 것이 아니라 TL측 후방에 나타난다는 것이다. LL이 건측일 때 CoP 궤적에서는 정상인에서처럼 point 1이 나타났고 point 3도 TL측 외측 전방에 나타났다. 그러나 point 1이 Onset 보다 후방에 위치하여야 하나 거의 Onset과 같은 위치 또는 전방에 나타났고 point 1과 point 2 사이의 곡선도 정상인에 비해 굴곡이 심했다.

그림 4 (a), (b)는 편마비 환자 B의 보행시작 시 LL이 환측일 때 (a), LL이 건측일 때(b) CoP 궤적이다. 환자 B는 LL이 환측일 때 CoP가 LL측 후방이 아닌 LL측 전방으로 이동하여 point 1이 나타나는데 이는 정상 보행시작에서의 경우와 달리 보행시작 시 먼저 LL측 발끝으로 지면을 박차는 기전이 일어나기 때문에 나타나는 양상으로 분석되며 환자 A의 경우와도 차이가 나는 환자 B의 CoP 궤적 변화의 특징이다. 이후 환자 B의 CoP는 TL측으로 편향된 후 TO와 IC가 발생한 후 전방으로 이동한다.

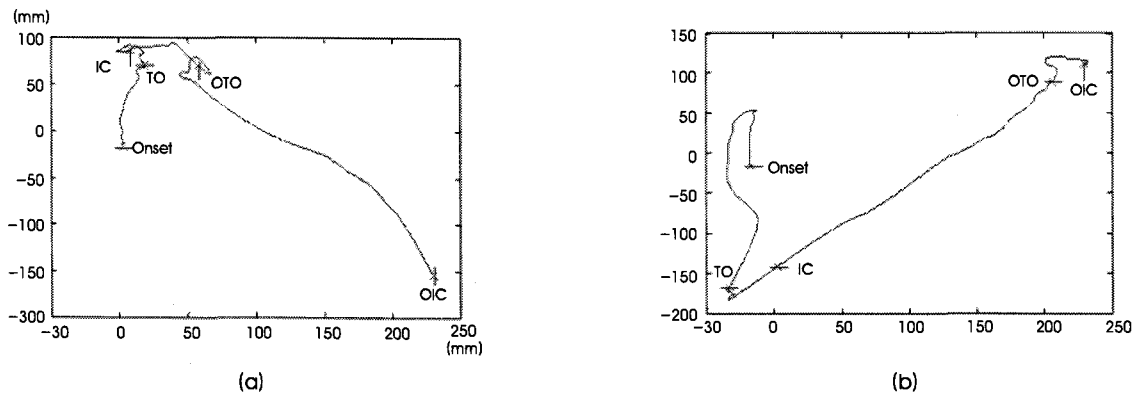


그림 3. 편마비 환자A 보행시작 시 환측이 이끄는 발일 때 압력중심 궤적 (a)과 건측이 이끄는 발일 때 압력중심 궤적 (b)
 Fig. 3. CoP trajectories of patient A during gait initiation with affected side (a), and unaffected side (b)

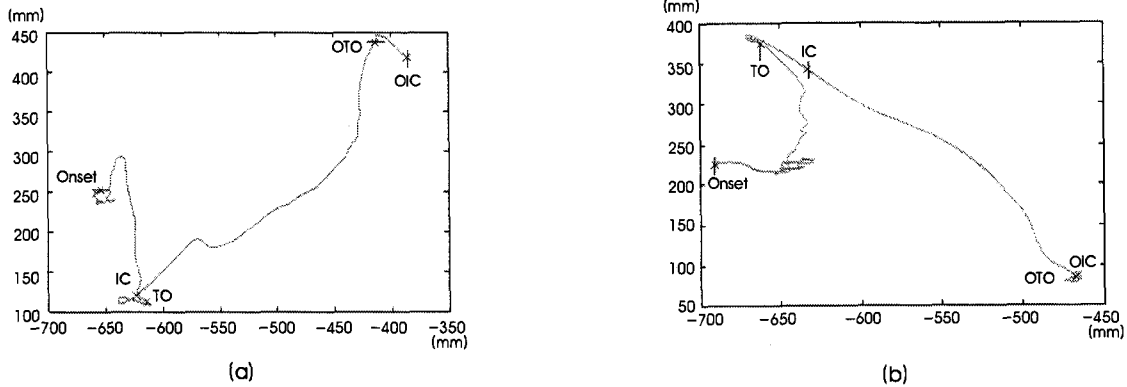


그림 4. 편마비 환자B 보행시작시 환측이 이끄는 발일 때 압력중심 궤적 (a)과 건측이 이끄는 발일 때 압력중심 궤적 (b)
 Fig. 4. CoP trajectories of patient B during gait initiation with affected side (a), and unaffected side (b)

환자 A와 B의 CoP 궤적에서(LL이 건측일 때와 환측일 때 모두) 심한 잡음(떨림), 또는 교차되는 양상을 보였는데 체중지지를 하는데 있어 환자는 불안한 균형 상태임을 알 수 있었다.

표 3은 편마비 환자 A와 B의 CoP 궤적에서 S1과 S2 구간에 걸린 평균시간과 CoP가 이동한 평균거리 값을 보여준다. 또한 Onset에서부터 반대측(TL) 발의 초기접지(OIC)까지를 100%로 정규화한 값을 제시하였다.

환자 A의 경우 환측(Affected (Rt.))이 LL일 때 보다 건측(Unaffected (Lt.))이 LL일 때 CoP가 더 큰 S1, S2의 거리를 더 짧은 시간에 이동하여 건측이 LL일 때 S1, S2 구간의 CoP 이동속도가 더 큰 특징을 보였다. 반면, 환자 B의 경우는 S2구간의 이동시간만 LL이 건측일 때 작게 나타난 것(S2 구간의 CoP 이동속도가 큼)외에는 LL이 환측일 때와 건측일 때가 거의 차이가 없었다.

정규값에서 정상치와 비교했을 때 환자 A의 경우 LL이 환측일 때 S1, S2 구간 모두 시간과 이동거리가 정상그룹의 값보다 작았고, LL이 건측일 때 S1구간의 시간과 이동거리는 정상그룹보다 컸지만 S2구간의 시간과 거리는 정상그룹보다 작았다. 환자 B의 경우 시간과 이동거리 모두 S1은 정상그룹보다 컸지만 S2는 정상그룹보다 작은 특징을 보였다.

표 3. 정상인 및 편마비환자 보행시작시 각 구간별 시간 및 거리 정규값

Table 3. The normalized values of time interval and distance during gait initiation in normal and stroke patients

param.	section	Normative	Patient A		Patient B	
			Affected (Rt.)	Unaffected (Lt.)	Unaffected (Rt.)	Affected (Lt.)
time	S1	31.45	25.60	35.38	53.59	73.49
	S2	28.30	24.40	8.64	16.73	7.10
distance	S1	21.29	17.23	40.00	36.32	43.41
	S2	19.86	9.66	10.07	9.36	11.87
speed (mm/s)	S1	0.68	0.67	1.13	0.68	0.59
	S2	0.70	0.40	1.17	0.56	1.67

IV. 고찰

편마비 환자의 보행 시작시 비대칭성을 관찰한 선행연구[14]에서는 CoP와 CoM을 관찰 대상으로 하여 궤적의 이동시간, 속도 등을 비교하여 건측으로 보행을 시작하는 경우 움직임의 불확실성이 크다고 결론지었다. 본 연구에서는 선행연구의 실험 및 분석 방법을 따르되 CoP의 궤적에서 특정 구간을 정의하여(S1, S2) 이동거리, 시간, 속력을 비교 분석하였다. CoM의 보다 정확한 측정을 위해서는 전신 마커를 부착한 동작분석이 불가피 하다. 이 경우 많은 시간과 노력이 필요하지만 힘 측정판을 이용한 CoP 분석만으로도 편마비 환자의 보행 시작시 특징을 관찰하는데 충분할 것으로 사료된다.

정상적인 보행 시작의 경우 S1는 첫 발을 내디디기 전 두발이 지면에 모두 닿아있는 상태에서 LL이 지면을 측후방으로 밀어 CoP가 LL측에서 TL측으로 빠르게 이동하는 구간으로 정상상태 보행(level walk)에서는 나타나지 않는 보행의 시작시에만 관찰되는 CoP이동의 특징이다. 또한, S2는 LL이 지면에서 떨어져 유각 상태에 놓이고 TL 한발로 체중을 지지하는 시기로 보행에서 최초로 한발 균형유지 기능이 필요한 구간이다. 따라서 이 구간이 보행 시

작 시에만 관찰되는 특징이므로 편마비 환자의 비대칭성을 비교할 대상으로 정하였다.

S1과 S2의 구간에서 CoP 이동거리와 이동시간으로 살펴 본 환자 A와 B의 보행시작 시 특징은 S1 구간에서는 우세발에 상관없이 환측의 CoP 이동속력이 현저히 작았고, S2 구간에서는 우세발인 우측의 CoP 속력이 작았다. 보행속도가 정상인, 환자 B, 환자 A 순서로 크게 나타났는데 S1, S2에서의 CoP 이동 속도도 보행속도 크기의 순서와 같았다. 그러나 환자 A와 B의 보행 시작시 비대칭성을 단순히 CoP 이동 속도만으로 기능수준을 평가하는 것은 한계가 있다. 왜냐하면, 상대적으로 평지보행의 속도가 더 빠른 환자 B의 경우 보행 시작시 CoP 이동 속력이 환자 A보다 빨랐지만, CoP 궤적에서 S1 구간에서의 길이가 더 길고 시간도 더 오래 걸렸다. 이는 환자 B가 보행을 시작하기 위하여 환자 A보다 상대적으로 더 많은 CoP 떨림, 즉 불안정한 체중심 이동을 하였다고 볼 수 있기 때문이다. 따라서 시간과 거리의 원 데이터, 정규화 데이터뿐만 아니라 CoP 궤적의 매끄러움 정도(smoothness)도 고려해야 한다.

본 연구에 참여한 편마비 환자의 경우 발병이전 우세측은 오른 쪽 손과 발로 동일하였으나 실험 당시 운동기능 회복의 정도가 달랐다. 따라서 실험 결과에 영향을 미칠 것이라 예상되었던 마비전 우세측 외에 마비측의 회복 정도도 보행과 보행의 시작에 영향을 미친 중요한 요인이었을 것으로 예상된다. 피검자들은 발병 이후 2년 안팎의 만성 환자로서 병원에서의 재활을 중단한 상태였기 때문에 참고할 만한 최근 임상평가가서 없었고 본 연구를 위한 별도의 임상평가도 실시하지 못한 한계가 있었다.

편마비환자의 경우 S2 이후 구간, IC~OTO, OTO~OIC 에서도 CoP 궤적은 차이를 보였다. 그러나 본 연구에서는 S2 이후 구간의 분석 결과를 포함하지 않았다. 또한 마커를 붙이고 삼차원 동작분석도 실시하였으나 운동형상학적 결과도 포함 하지 않았다. 따라서 본 연구의 결과만으로 마비측과 우세측, 비우세측에 따른 편마비 환자의 비대칭적 특징을 일반화하기는 어려운 한계를 가지고 있다.

V. 결론

최선 보행특성을 갖는 편마비 환자의 보행 시작 분석을 통하여 양하지가 모두 지면에 닿아 있는 상태에서 첫 발을 내딛기까지 CoP의 이동이 정상인에 비하여 매우 느리고 떨림이 심한 궤적을 보임을 알 수 있었으며, 건측을 먼저 내딛는 경우와 환측을 먼저 내딛는 경우에 CoP의 궤적 또한 우세, 비우세측에 따른 차이가 있음을 확인 할 수 있었다. S1 구간에서 CoP 이동 속력은 건측 비우세발(환자 A), 건측 우세발(환자 B), 환측 비우세발(환자 B), 환측 우세발(환자 A) 순서로 크게 나타났고, S2 구간에서는 환측 비우세(환자 B), 건측 우세(환자 B), 건측 비우세(환자 A), 환측 우세(환자 A) 순서로 크게 나타났다.

본 연구에서는 편마비 환자들의 보행 시작시 총 압력중심의 변화를 비교 관찰함으로써 이 지표가 중요한 정량적 지표가 될 수 있음을 확인 하였다. 다음 연구에서는 더 많은 환자를 대상으로 마비 유형을 분류하고 중요한 변수들을 파악, 비교하여 편마비 환자의 비대칭성 평가도구로서 보행 시작시 CoP 분석 방법의 신뢰도와 타당도를 검증하고자 한다.

참고문헌

- [1] M. Bishop, D. Brunt, N. Pathare and J. Marjama-Lyons, "Changes in distal muscle timing may contribute to slowness during sit-to-stand in parkinsons disease," *Clinical biomechanics*, 20 (1), 112-117, 2005.
- [2] D. Vlahov and A.H. Myers, "Epidemiology of falls among patients in a rehabilitation hospital," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 71 (1), 8-12, 1990.
- [3] N.E. Mayo, N. Korner-Britensky, R. Becker and P. Georges, "Predicting falls among patients in a rehabilitation hospital," *Am. J. Phys. Med. Rehabil.*, 68 (3), 139-146, 1989.
- [4] M. Dawson, F. Reiter, T. Sarkodie-Gyan, L. Provinciali and S. Hesse, "Gait initiation, development of a measurement system for use in a clinical environment," *Biomedizinische. Technik*, 41 (7-8), 213-217, 1996.
- [5] 백남중, 이종민, 김창원, "편마비 보행시 단하지 보조기의 효과," *대한재활의학회지*, 21 (4), 658-668, 1997.
- [6] R.A. Mann, J.L. Hagy, V. White and D. Liddell, "The initiation of gait," *J. Bone Joint Surg Am.* 61, 232-239, 1979.
- [7] Y. Jian, D.A. Winter, M.G. Ishac, and L. Gilchrist, "Trajectory of the body COG and COP during initiation and termination of gait," *Gait & Posture*, 1, 9-22, 1993.
- [8] R. J. Elble, C. Moody, K. Leffler and R. Sinha, "The initiation of normal walking," *Movement Disorder*, 9 (2), 139-146, 1994.
- [9] A.H. Vrieling, H.G. van Keeken, T. Schoppen, E. Otten, J.P.K. Halbertsma, A.L. Hof and K. Postema, "Gait initiation in lower limb amputees," *Gait&Posture*, 27 (3), 423-430, 2008 .
- [10] Sandhiran Patchay and Yves Gahéry, "Effect of symmetrical limb loading on early postural adjustments associated with gait initiation in young healthy adults," *Gait&Posture*, 85-94, 2003.
- [11] Carrie Stackhouse, Patricia A. Shewokis, Samuel R. Pierce, Brian Smith, James McCarthy and Carole Tucker, "Gait initiation in children with cerebral palsy," *Gait & Posture*, 26 (2), 301-308, 2007.
- [12] A. Delval, P. Krystkowiak, J.-L. Blatt, E. Labyt, J.-L. Bourriez, K. Dujardin, A. Destée, P. Derambure and L. Defebvre, "A biomechanical study of gait initiation in Huntington's disease," *Gait&Posture*, 25 (2), 279-288, 2007.
- [13] M. Henriksson and H. Hirschfeld, "Physical active older adults display alterations in gait initiation," *Gait & Posture*, 21 (3), 289-296, 2005.
- [14] S. Hesse, F. Reiter, M. Jahnke, M. Dawson, T. Sarkodie-Gyan, K.H. Mauritz, "Asymmetry of gait initiation in hemiparetic stroke subjects," *Arch Phys Med Rehabil.* 78 (7), 719-724, 1997.