

## 편마비 환자에서 체중부하 정도와 삐뚤다리 보행과의 상관관계

연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 재활의학연구소

김덕용 · 박창일 · 장용원 · 안소영 · 나상일 · 박영선

### The Relationship between Weight-Bearing and Stiff-Knee Gait in Hemiplegic Patients

Deog Young Kim, M.D., Chang Il Park, M.D., Yong Won Jang, M.D., So Young Ahn, M.D., Sang-il Na, M.D. and Young Sun Park, M.D.

Department of Rehabilitation Medicine and Research Institute of Rehabilitation Medicine, Yonsei University College of Medicine

**Objective:** To determine whether insufficient weight-bearing on the hemiparetic side has a correlation with the degree of stiff-knee gait in hemiplegic patients.

**Method:** Fifty hemiplegic patients were included. In all patients, 3-dimensional gait analysis and static and dynamic foot pressure measurements were taken. The degree of stiff-knee gait was evaluated using the peak knee flexion angle and the knee flexion slope at toe-off in hemiplegic limb. The degree of weight-bearing was evaluated using the percentage of hemiplegic foot pressure and pressure-time integration on the non-hemiplegic side.

**Results:** The static and dynamic mean pressure ratios and pressure-time integration ratio were statistically correlated with peak knee flexion angle and knee flexion slope ( $p < 0.01$ ).

**Conclusion:** As a result, insufficient weight-bearing had a correlation with the degree of stiff-knee gait in hemiplegic patients. Insufficient weight-bearing should be further investigated to determine whether it is one of the characteristic findings of stiff-knee gait, or another cause of stiff-knee gait. (J Korean Acad Rehab Med 2004; 28: 20-25)

**Key Words:** Hemiplegia, Stiff-knee gait, Weight-bearing

## 서 론

삐뚤다리 보행(Stiff-knee gait)은 뇌졸중으로 인한 경직성 마비 보행을 보이는 환자에서 흔히 보이는 특징적 보행 양상으로, 유각기 시 슬관절 굴곡 감소를 보이는 보행형태를 말한다.<sup>5,12,13,17,26,30</sup>

이에 대한 원인으로 대퇴 사두근의 경직이 우선적으로 제기되었으며,<sup>12,17,26,30</sup> 1979년 Waters 등<sup>30</sup>은 편마비 환자에서 대퇴 사두근 경직이 삐뚤다리 보행의 원인이라고 보고하고 수술적 치료를 시행하였으며, 그 외에 대퇴 사두근의 경직을 감소시키기 위한 비수술적인 치료 방법들이 이용되어 왔다.<sup>27</sup> 하지만 이것만으로 삐뚤다리 보행을 설명하기에는 어려움이 있으며, Yelnik 등<sup>32</sup>은 대퇴 사두근의 경직이 삐뚤다리 보행의 유일한 원인인 경우는 12%뿐이었다고 보고하였다. 그 후 삐뚤다리 보행의 원인으로 대퇴 사두근의 경직 이외에 고관절 굴곡 장애<sup>11,17,19,22,23</sup> 및 보행 시 족관절 조절 장애<sup>13,17</sup> 등의 다른 문제점들이 제기되었다. 또한

편마비 환자에서는 삐뚤다리 보행 외에도 운동기능 장애 및 위치·고유·균형 등의 감각기능의 장애로 인하여 환측으로의 체중부하의 제한이 특징적으로 나타난다.

이에 본 연구는 편마비 환자에서 특징적으로 나타나는 삐뚤다리 보행과 체중부하의 제한 사이의 상관관계를 알아보고자 하였으며, 이를 통해 체중부하의 제한이 삐뚤다리 보행의 원인으로의 가능성을 알아보고자 하였다.

## 연구대상 및 방법

### 1) 연구대상

2000년 3월부터 2002년 6월까지 본원 재활의학과에 내원한 편마비 환자 중 뇌졸중에 의한 편마비 외에는 보행에 영향을 줄 수 있는 기타 신경계 질환, 골절 및 구축 등의 근골격계 질환, 내과적 질환의 과거력 및 현병력이 없으면서, 보조기를 착용하지 않고 독립적으로 10 m 이상 보행이 가능한 50명을 대상으로 하였다. 대상자는 남자 28명, 여자 22명으로 이들의 평균 연령은 55.7세였으며, 뇌졸중 발생 후 유병기간은 평균 5.15개월이었고, 뇌출혈 17명, 뇌경색 33명이었다. 이들의 키는 평균 163.7 cm였으며, 몸무게는 평균 65.7 kg이었다.

접수일: 2003년 5월 28일, 게재승인일: 2003년 11월 19일

교신저자: 안소영, 서울시 서대문구 신촌동 134

☎ 120-752, 연세의료원 재활병원 재활의학과

Tel: 02-361-7588, Fax: 02-363-2795

E-mail: rina-an@hanmail.net

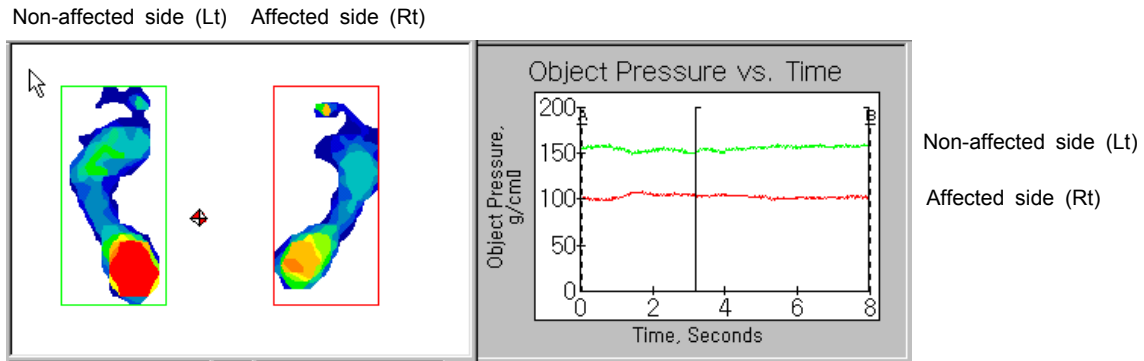


Fig. 1. Static mean pressure ratio measurement. Static mean pressure of both sides was measured by F-scan system, and static mean pressure ratio was calculated by the percentage of hemiplegic side on non-hemiplegic side.

2) 연구방법

(1) 보행 분석: 3차원 보행분석기인 Vicon 370 Motion Analysis System (Oxford Metrics Ltd., UK)을 이용하여 운동형상학적 지표를 구하여 분석하였다. Vicon 370 Motion Analysis System는 6개의 적외선 카메라가 수동표식자의 움직임을 측정하여 각 관절의 운동형상학 분석을 할 수 있는 장치로 본 연구에서는 먼저 적외선 카메라에서 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위해 영점 교정(calibration)을 시행한 후, Vicon protocol에 따라 기립 정지 상태에서 권 등<sup>1)</sup>이 보고한 바와 같이 13개의 표식자를 부착하고 신발을 신지 않은 상태에서 보행을 하였으며, 보행분석 시행 전에 우선 8 m 길이의 보도를 수차례 걷게 하여 자연스러운 보행을 유도한 후 검사하는 동안은 최소한 5차례 이상의 보행을 시도하여 분석하였다.

보행주기에 따른 시상면에서의 운동형상학적 지표를 VCM software를 이용하여 구하였으며, 이로부터 유각기에서의 환측의 최대 슬관절 굴곡 각도(peak knee flexion angle) 및 환측의 발가락 들림기(toe-off) 시의 슬관절 굴곡 기울기(knee flexion slope)를 측정하여, 이를 뼈정다리 보행의 정도를 나타내는 지표로 하였다. 환측의 발가락 들림기 시의 슬관절 굴곡 기울기는 보행주기상 발가락 들림기 2% 전과 4% 후의 슬관절 굴곡 각도 값이 이루는 직선의 기울기로 정의하였다.

(2) 족저압 분석: 족저압 분석기인 F-scan system (Tekscan Inc., USA)을 이용하여 환측 하지로의 체중부하 정도를 정적 족저압 분석 및 동적 족저압 분석을 통하여 평가 하였다. 먼저 안정된 기립 자세를 8초간 유지한 상태에서 정적 족저압 분석을 통하여 정적 체중부하비(static weight-bearing ratio)를 측정하였으며, 이는 양측 족부의 평균 접지 압력을 구한 후 환측의 건측에 대한 백분율로 정의하였다(Fig. 1). 다음으로 보행 시의 동적 족저압 분석을 통하여 동적 체중부하비(dynamic weight-bearing ratio), 압력-시간 적분비(pressure-

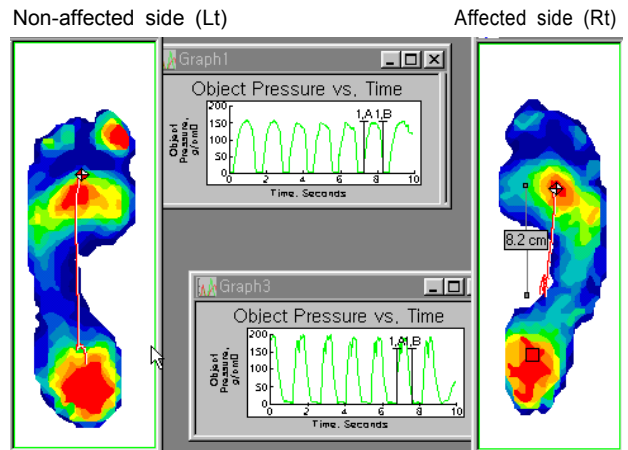


Fig. 2. Dynamic mean pressure ratio and pressure-time integration ratio measurement. Dynamic mean pressure and pressure-time integration of both sides were measured by F-scan system, then dynamic mean pressure ratio and pressure-time integration were calculated by the percentage of hemiplegic side on non-hemiplegic side.

time integration ratio)를 구하였다. 동적 체중부하비는 입각기에 가해지는 양측 족부의 평균 접지 압력을 구한 후 환측의 건측에 대한 백분율로 정의하였으며, 압력-시간 적분비는 입각기에 가해지는 양측 족부의 압력-시간 적분 값을 구한 후 환측의 건측에 대한 백분율로 정의하였다(Fig. 2).

3) 통계 처리

통계분석은 SPSS 10.0 for window version을 이용하였고 보행분석을 통해 얻은 뼈정다리 보행의 정도를 나타내는 지표인 유각기에서의 환측 최대 슬관절 굴곡 각도 및 환측 발가락 들림기 시의 슬관절 굴곡 기울기와 족저압 분석을 통해 얻은 정적 체중부하비, 동적 체중부하비, 압력-시간 적분비 사이의 상관관계를 알아보기 위하여 Pearson corre-

**Table 1.** Correlation between the Degree of Weight-Bearing and the Degree of Stiff-Knee Gait in Hemiplegic Limb

	Peak knee flexion angle	Knee flexion slope
Static weight-bearing ratio	0.384*	0.433*
Dynamic weight-bearing ratio	0.328*	0.426*
Pressure-time integration ratio	0.566*	0.654*

Values are correlation coefficient.

\*p<0.01

lation을 이용하여 분석하였다. P value가 0.01 미만인 것을 통계학적으로 유의 있는 것으로 정하였다.

## 결 과

### 1) 체중부하정도 및 삐뚤다리 보행의 정도

대상자들의 평균 환측 최대 슬관절 굴곡 각도는 41.16±16.84도, 평균 환측 발가락 들림기 시의 슬관절 굴곡 기울기는 1.46±1.03, 평균 정적 체중부하비는 72.98±25.96%, 평균 동적 체중부하비는 91.55±33.78%, 평균 압력-시간 적분비는 73.32±35.80%이었다.

### 2) 정적 체중부하정도와 삐뚤다리 보행 정도와의 상관관계

정적 체중부하비는 유각기에서의 환측 최대 슬관절 굴곡 각도 및 환측의 발가락 들림기 시 슬관절 움직임의 기울기와 통계학적으로 유의한 양의 상관관계를 보였으며(p<0.01), 상관계수는 각각 0.384 및 0.433이었다(Table 1, Fig. 3).

### 3) 동적 체중부하정도와 삐뚤다리 보행 정도와의 상관관계

동적 체중부하비는 유각기에서의 환측 최대 슬관절 굴곡 각도 및 환측의 발가락 들림기 시 슬관절 움직임의 기울기와 통계학적으로 유의한 양의 상관관계를 보였으며(p<0.01), 상관계수는 각각 0.328 및 0.426이었다(Table 1, Fig. 3).

### 4) 압력-시간 적분비와 삐뚤다리 보행 정도와의 상관관계

압력-시간 적분비는 유각기에서의 환측 최대 슬관절 굴곡 각도 및 환측의 발가락 들림기 시 슬관절 움직임의 기울기와 통계학적으로 유의한 양의 상관관계를 보였으며(p<0.01), 상관계수는 각각 0.566 및 0.654였다(Table 1, Fig. 3). 이는 환측 하지에의 체중부하 정도를 나타내는 다른 지표에 비해 상대적으로 높은 상관계수를 보여주었다.

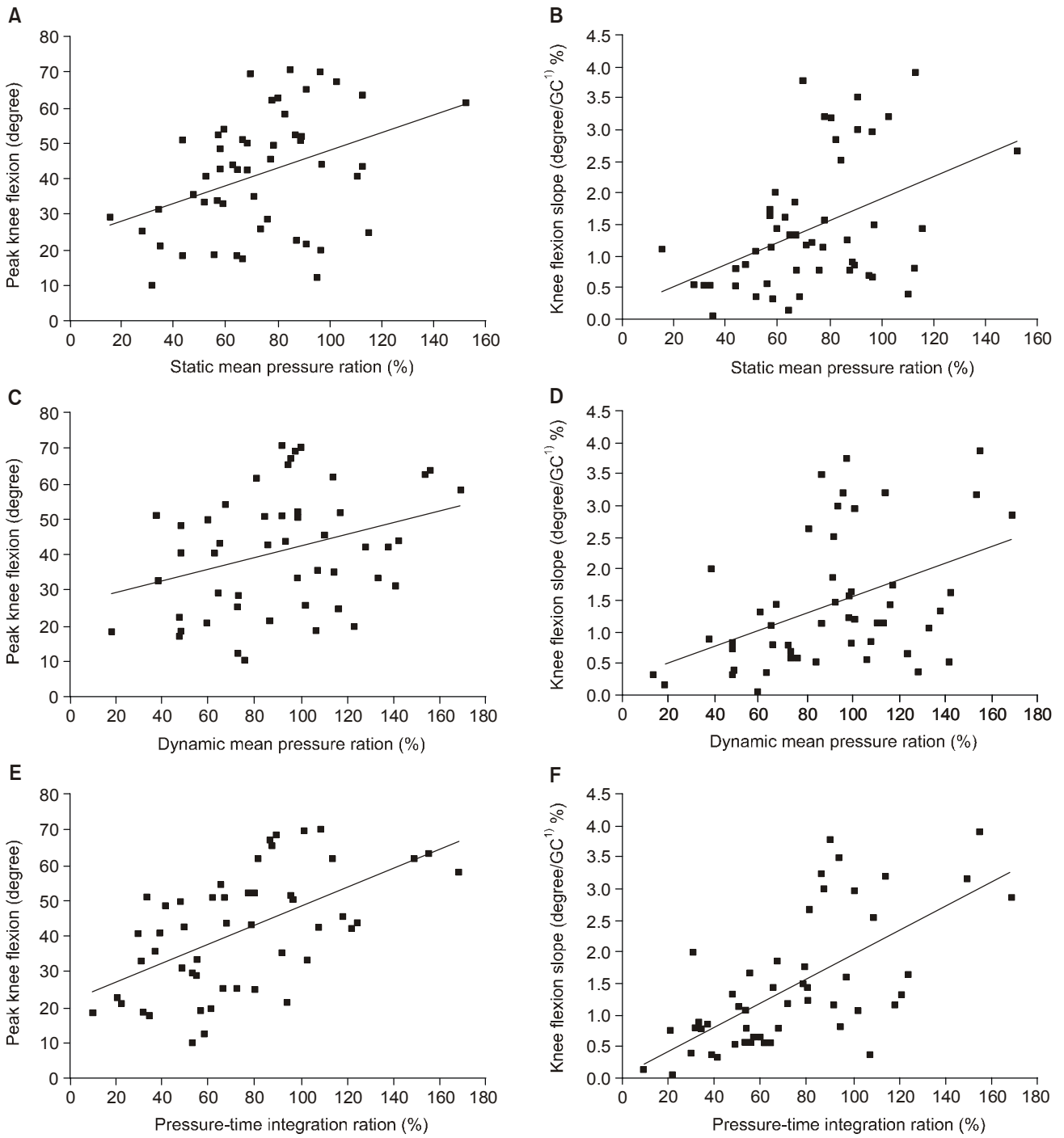
## 고 찰

정상보행이란 조화된 사지의 운동을 통해 최소한의 에너

지를 소모하면서 부드럽고 효과적으로 신체의 무게중심을 앞으로 이동시키는 것을 말한다.<sup>2,4)</sup> 그러나 뇌졸중에 의한 편마비 환자에서는 환측에 대한 중추신경계의 조절능력이 소실되게 되며, 주동근과 길항근의 부조화를 보이고, 경직과 같은 과도한 근긴장도가 나타나게 된다. 또한 고유감각 및 평형감각의 소실을 보이게 되며 마비측으로의 체중부하가 감소한다. 그 결과 비정상적인 보행 양상을 보이게 되는데 특징적이고 혼란 것이 삐뚤다리 보행이다. 삐뚤다리 보행은 보행주기 중 유각기에 감소된 슬관절 굴곡을 나타내는 보행을 말하며, 이로 인하여 유각기시 발 끌림 등의 문제점이 발생하게 된다. 이를 극복하기 위하여 편마비 환자는 회선보행(circumduction gait), 환측 및 건측 골반과 고관절에서 보상 작용을 하게 되고 그 결과 보행속도가 느려지고 에너지 소비가 증가하는 비효율적인 보행 양상을 보이게 되며, 또한 건측 다리의 손상의 위험성이 커진다.<sup>15,16,30)</sup> 삐뚤다리 보행을 보이는 환자에서 보이는 이러한 문제점들은 슬관절 굴곡을 향상시킴으로써 호전될 수 있다고 보고되고 있으며,<sup>13,17,19)</sup> 이에 대한 적절한 치료를 위하여 삐뚤다리 보행의 원인적 요소에 대한 이해가 우선적으로 이루어져야 할 것이다.

지금까지 삐뚤다리 보행에 대한 원인 및 치료에 대하여 많은 연구가 이루어져 왔다. 전통적으로 대퇴 사두근의 경직이 주된 원인으로 생각되었으며, 이에 대한 치료로 대퇴 사두근의 경직을 감소시키기 위한 수술적, 비수술적 방법이 이용되었다.<sup>3,8,10,12,17,21,25-27,30)</sup> Sutherland 등<sup>26)</sup>은 삐뚤다리 보행을 보이는 뇌성마비 환자를 대상으로 대퇴 사두근을 수술적 방법으로 치료하였으며, 보행분석을 통하여 치료효과를 평가한 결과 이들에게서 유각기 시 최대 슬관절 굴곡이 증가하였다고 보고하였다. 이외에도 뇌성마비 환자를 대상으로 삐뚤다리 보행에 대한 치료로 대퇴사두근의 수술적 치료에 대한 효과 및 중요성을 보고한 연구가 있다.<sup>8,10,12,21)</sup> 또한 Waters 등<sup>30)</sup>은 삐뚤다리 보행을 보인 편마비 환자 126명을 대상으로 대퇴 사두근의 근전도 활성도를 평가하였는데, 대상자의 1/4에서 전유각기와 초기 유각기에 비정상적인 근전도 활성도를 보였고 이들을 대상으로 대퇴 사두근에 수술적 치료를 한 결과 유각기 시 최대 슬관절 굴곡 각도가 증가하였다고 보고하였다. 이와 같은 수술적 치료 외에 대퇴 사두근의 경직을 감소시키기 위한 여러 비수술적 방법이 이용되고 있으며,<sup>25,27)</sup> Sung과 Bang<sup>25)</sup>은 삐뚤다리 보행을 보인 31명의 환자를 대상으로 한 연구에서 대퇴 직근에 대한 운동신경 분지의 차단이 비수술적으로 삐뚤다리 보행을 치료할 수 있는 효과적인 방법이라고 하였다.

이와 같이 대퇴 사두근의 경직을 삐뚤다리 보행의 원인적 요소로 보고하고 있는 연구 외에 최근에는 다른 가능한 원인적 요소들에 대해 보고하는 연구가 많다.<sup>13,14,17-19,22,24)</sup> 2001년 Kerrigan 등<sup>18)</sup>은 뇌졸중에 의한 삐뚤다리 보행 군과



**Fig. 3.** Correlation between degree of weight-bearing and peak knee flexion (A, C, E) and knee flexion slope (B, D, F). 1. GC: Gait cycle.

정상보행 군을 대상으로 한 보행분석을 통해 삐뚤다리 보행 군에서 운동 역학적 지표들이 정상보행 군과 다르게 나타났고 삐뚤다리 보행 군 내에서도 각 지표들은 대상자간에 상당한 다양성을 보였음을 보고하였으며, 이는 삐뚤다리 보행의 다양한 원인과 보상 작용에 의한 것이라고 하였다. 또한 삐뚤다리 보행을 보인 23명의 환자를 대상으로 보

행주기 동안 각 근육들의 활성도를 동적 근전도를 통하여 분석한 결과 대퇴 사두근 외에도 슬 굴곡근 및 장딴지 근육에서도 비정상적인 활성도를 보였음을 보고하였고,<sup>17)</sup> toe-walking이 삐뚤다리 보행을 유발할 수 있다고 하였다.<sup>14)</sup> 이외 Riley와 Kerrigan<sup>24)</sup>도 슬관절 이외에도 고관절, 족관절의 다양한 장애가 각각의 삐뚤다리 보행의 가능한 원인이라고

하였다.

본 연구에서는 삐뚤다리 보행의 정도를 나타내는 지표 중의 하나로 발가락 들림기 시의 슬관절 굴곡 기울기를 사용하였다. 발가락 들림기 시의 슬관절 굴곡 기울기는 전유각기부터 초기 유각기 사이의 슬관절 굴곡 속도를 반영하는 지표로서 삐뚤다리 보행의 정도를 반영할 수 있는데, 이전의 연구에서는 보행 주기에서 발가락 들림기 및 발가락 들림기 2% 전, 2% 후, 4% 후의 슬관절 관절 각도 값들의 회귀 계수로 측정하였으나,<sup>25)</sup> 본 연구에서는 간략화하여 발가락 들림기 2% 전과 4% 후의 슬관절 관절 각도 값들이 이루는 직선의 기울기로 측정하였다.

또한 편마비 환자는 체중의 많은 부분을 건축에 부하하게 되며, 이는 비정상적인 근육의 활성화, 비정상적인 자세 역학(postural mechanism), 감각의 장애로 인하여 나타나게 된다.<sup>6,28,29)</sup> 이러한 비대칭적인 체중부하는 기립자세에서만뿐만 아니라, 보행 시에도 나타나게 되며 이로 인하여 편마비 환자는 비대칭적이고 비효율적인 보행을 하게 되고, 또한 낙상에의 위험도 증가하게 된다.<sup>9,29)</sup> 이와 관련하여 Brunt 등<sup>7)</sup>은 체중부하 능력과 보행을 시작할 수 있는 힘의 생성과의 상관관계를 보고하면서 보행 능력의 향상을 위해서는 대칭적인 체중부하에 대한 치료의 중요성을 강조하였다. 대칭적인 체중부하를 통하여 기립 시의 안정 및 보행을 향상시키기 위한 치료로서 전통적으로 환측으로 체중부하를 시키는 치료가 이루어져 왔으며,<sup>20,31)</sup> 최근에는 환측으로의 강제적인 체중부하를 위하여 건축의 신발의 높이를 높이는 방법(shoe lift)의 효과가 보고되고 있다.<sup>9)</sup> 본 연구에서는 환측 하지로의 체중부하 정도를 알아보기 위하여 족저압 분석기를 이용하였으며, 안정된 기립 자세에서의 정적 체중부하 정도 및 보행 시의 체중부하 정도를 각각 구하여, 삐뚤다리 보행의 정도를 나타내는 지표인 유각기의 최대 슬관절 굴곡 각도 및 환측의 발가락 들림기 시의 슬관절 굴곡 기울기와 비교 분석하였다. 본 연구 결과 편마비 환자에서 흔히 나타나는 삐뚤다리 보행의 정도와 환측 하지로의 체중부하 제한의 정도 사이에는 서로 유의한 상관 관계가 있음을 확인할 수 있었다. 또한 환측 하지로의 체중부하 정도를 알아보고자 한 여러 지표 중 압력-시간 적분비가 다른 지표들에 비해 삐뚤다리 보행의 정도와 상대적으로 높은 상관계수를 보였는데 이는 접지 압력과 접지 시간을 함께 고려한 값으로, 보행의 동적인 특성상 체중부하 정도를 보다 잘 반영할 수 있었기 때문으로 생각된다.

본 연구의 제한점으로는 보행분석 시 운동 형상학적인 지표만 평가하였는데, 이는 본 연구의 목적이 삐뚤다리 보행과 체중부하 정도와의 상관성만을 살펴보고자 한 데 있기 때문이다. 향후 체중부하 감소가 삐뚤다리 보행의 또 하나의 원인임을 규명하기 위해서 편마비 환자에서 체중부하 훈련을 통해 체중부하의 향상정도가 삐뚤다리 보행의 향상을 초래하는지에 대한 연구 및 삐뚤다리 보행의 여러 다른

원인 및 운동기능의 회복정도 등을 함께 고려한 부가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 결 론

본 연구는 50명의 뇌졸중에 의한 편마비 환자를 대상으로 하여 족저압 분석기를 이용하여 체중 부하정도를 평가하고 삼차원 동작분석기를 이용하여 삐뚤다리 보행 정도를 평가한 결과, 편마비 환자에서 족저압 분석을 이용한 보행 시의 압력-시간 적분값은 역동적인 체중부하의 정도를 평가하는 데 유용한 지표이며, 환측 하지로의 체중부하에 제한이 있을수록 삐뚤다리 보행 정도가 심해지는 상관관계를 관찰할 수 있었다. 이상의 결과로부터 체중부하의 제한이 삐뚤다리 보행의 원인일 가능성을 확인할 수 있었으며, 추후 체중부하의 제한이 삐뚤다리 보행의 또 하나의 원인인지, 아니면 단순히 삐뚤다리 보행의 특징적인 결과적 현상인지에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

- 1) 권도윤, 성인영, 유종윤, 하상배: 한국 성인의 3차원적인 보행 분석. 대한재활의학회지 1998; 22: 1107-1113
- 2) 김미정, 이수아, 김상규, 성인영: 뇌졸중 환자의 보행 속도에 관한 연구. 대한재활의학회지 1994; 18: 736-741
- 3) 박창일, 박은숙, 신지철, 김성우, 김덕용, 안재기: 경직성 뇌성마비 환자의 비복근내 보틀리눔 독소 주사후 경직 및 보행 양상의 변화. 대한재활의학회지 1999; 23: 504-515
- 4) 전중선, 전세일, 김동아, 윤태준, 서정훈, 석 현, 은석훈, 장영재: 편마비 환자에서 플라스틱 단하지 보조기 종류에 따른 보행분석 및 에너지 소모의 비교. 대한재활의학회지 2000; 24: 1046-1054
- 5) Annaswamy TM, Giddings CJ, Della Croce U, Kerrigan DC: Rectus femoris: its role in normal gait. Arch Phys Med Rehabil 1999; 80: 930-934
- 6) Arcan M, Brull MA, Najenson T, Solzi P: FGP assessment of postural disorders during process of rehabilitation. Scand J Rehabil Med 1977; 9: 165-168
- 7) Brunt D, Vander Linden DW, Behrman AL: The relation between limb loading and control parameters of gait initiation in persons with stroke. Arch Phys Med Rehabil 1995; 76: 627-634
- 8) Chambers H, Lauer A, Kaufman K, Cardelia JM, Sutherland D: Prediction of outcome after rectus femoris surgery in cerebral palsy: the role of cocontraction of the rectus femoris and vastus lateralis. J Pediatr Orthop 1998; 18: 703-711
- 9) Chaudhuri S, Aruin AS: The effects of shoe lifts on static and dynamic postural control in individuals with hemiparesis. Arch Phys Med Rehabil 2000; 81: 1498-1503
- 10) Damron TA, Breed AL, Cook T: Diminished knee flexion after hamstring surgery in cerebral palsy patients: prevalence and severity. J Pediatr Orthop 1993; 13: 188-191

- 11) De Quervain IA, Simon SR, Leurgans S, Pease WS, McAllister D: Gait pattern in the early recovery period after stroke. *J Bone Joint Surg Am* 1996; 78: 1506-1514
- 12) Gage JR, Perry J, Hicks RR, Koop S, Wertz JR: Rectus femoris transfer to improve knee function of children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 1987; 29: 159-166
- 13) Kerrigan DC, Bang MS, Burke DT: An algorithm to assess stiff-legged gait in traumatic brain injury. *J Head Trauma Rehabil* 1999; 14: 136-145
- 14) Kerrigan DC, Burke DT, Nieto TJ, Riley PO: Can toe-walking contribute to stiff-legged gait? *Am J Phys Med Rehabil* 2001; 80: 33-37
- 15) Kerrigan DC, Frates EP, Rogan S, Riley PO: Spastic paretic stiff-legged gait: biomechanics of the unaffected limb. *Am J Phys Med Rehabil* 1999; 78: 354-360
- 16) Kerrigan DC, Frates EP, Rogan S, Riley PO: Hip hiking and circumduction: quantitative definitions. *Am J Phys Med Rehabil* 2000; 79: 247-252
- 17) Kerrigan DC, Gronley J, Perry J: Stiff-legged gait in spastic paresis. a study of quadriceps and hamstrings muscle activity. *Am J Phys Med Rehabil* 1991; 70: 294-300
- 18) Kerrigan DC, Karvosky ME, Riley PO: Spastic paretic stiff-legged gait: joint kinetics. *Am J Phys Med Rehabil* 2001; 80: 244-249
- 19) Kerrigan DC, Roth RS, Riley PO: The modeling of adult spastic paretic stiff-legged gait swing period based on actual kinematic data. *Gait Posture* 1998; 7: 117-124
- 20) Lane RE: Facilitation of weight transference in stroke patient. *Physiotherapy* 1978; 64: 260-264
- 21) Miller F, Cardoso Dias R, Lipton GE, Albarracin JP, Dabney KW, Castagno P: The effect of rectus EMG patterns on the outcome of rectus femoris transfers. *J Pediatr Orthop* 1997; 17: 603-607
- 22) Piazza SJ, Delp SL: The influence of muscles on knee flexion during the swing phase of gait. *J Biomech* 1996; 29: 723-733
- 23) Riley PO, Kerrigan DC: Torque action of two-joint muscles in the swing period of stiff-legged gait: a forward dynamic model analysis. *J Biomech* 1998; 31: 835-840
- 24) Riley PO, Kerrigan DC: Kinetics of stiff-legged gait: induced acceleration analysis. *IEEE Trans Rehabil Eng* 1999; 7: 420-426
- 25) Sung DH, Bang HJ: Motor branch block of the rectus femoris: its effectiveness in stiff-legged gait in spastic paresis. *Arch Phys Med Rehabil* 2000; 81: 910-915
- 26) Sutherland DH, Santi M, Abel MF: Treatment of stiff-knee gait in cerebral palsy: a comparison by gait analysis of distal rectus femoris transfer versus proximal rectus release. *J Pediatr Orthop* 1990; 10: 433-441
- 27) Treanor WJ: The role of physical medicine treatment in stroke rehabilitation. *Clin Orthop* 1969; 63: 14-22
- 28) Wall JC, Ashburn A: Assessment of gait disability in hemiplegics. *Scand J Rehabil Med* 1979; 11: 95-103
- 29) Wall JC, Turnbull GI: Gait asymmetries in residual hemiplegia. *Arch Phys Med Rehabil* 1986; 67: 550-553
- 30) Waters RL, Garland DE, Perry J, Habig T, Slabaugh P: Stiff-legged gait in hemiplegia: surgical correction. *J Bone Joint Surg Am* 1979; 61: 927-933
- 31) Wong M, Lee M, Kuo J, Tang F: The development and clinical evaluation of a standing biofeedback trainer. *J Rehabil Res Dev* 1997; 34: 322-327
- 32) Yelnik A, Albert T, Bonan I, Laffont I: A clinical guide to assess the role of lower limb extensor overactivity in hemiplegic gait disorders. *Stroke* 1999; 30: 580-585