

경직성 뇌성 마비 환아에서 흔하게 나타나는 하지 관절의 보행 이상

연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 재활의학연구소

박은숙 · 나동욱 · 김형빈 · 김민준

Common Gait Abnormalities of Each Joint in Children with Spastic Cerebral Palsy

Eun Sook Park, M.D., Dong-Wook Rha, M.D., Hyoung Bin Kim, M.D. and Min June Kim, M.D.

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

Objective: To investigate the prevalence of gait abnormalities of each joint of lower legs in children with spastic cerebral palsy (CP) and to find out the influences of subtype of CP, age, previous surgery and motor function on the gait abnormalities.

Method: The gait analysis and foot scan from 320 children with CP were reviewed. Types of gait abnormalities were classified into 5 types for hip joint, 4 types for knee joint and 8 types for foot and ankle joint. The prevalence of gait abnormalities was assessed and the influence of subtype of CP, age, previous surgery and GMFCS (gross motor function classification system) level were also investigated.

Results: In foot and ankle joint, intoeing (63.8%) was the

most common in all CP. In knee joint, jumping knee (32.8%) was the most common in diplegic and hemiplegic CP but crouch (47.6%) was the most common in quadriplegic CP. The likelihood of having planovalgus and crouch significantly increased with age and pes calcaneus increased after orthopaedic surgery. The children with lower functional level on GMFCS tended to show stiff and recurvatum knee pattern.

Conclusion: Predominant gait abnormalities in each joint were assessed. Age, previous surgery, motor function and subtype of children with CP had a significant effect on the prevalence of gait abnormalities in each joint. (*J Korean Acad Rehab Med* 2009; 33: 64-71)

Key Words: Spastic cerebral palsy, Gait analysis, F-scan system, Foot deformities

서 론

뇌성마비 환자 하지의 경직성 및 근 위약, 근육 수축들의 부조화, 관절 변형 등으로 인하여, 보행 시 다양한 형태의 비정상적인 보행 양상을 보인다.¹⁻⁵ 다양한 보행양상을 적절히 분류하는 것은 서로 다른 보행이상을 보이는 환자 군에서 원인이 되는 근육들을 밝혀내고 적절한 치료 방법을 결정하며, 치료 효과를 좀 더 객관적으로 평가할 수 있는 바탕이 되기 때문에 매우 중요하다. 뇌성마비 환자의 보행이상 소견을 객관적으로 측정하고 그 원인을 분석하기 위하여 컴퓨터를 이용한 3차원 보행 분석이 시행된 이래로, 이러한 분석 결과를 이용하여 뇌성마비 환자의 보행이상을 분류하고자 하는 많은 노력들이 있었다.^{3,4,6-9} 하지만 이렇게 분류된 각각의 보행이상 소견의 유병률 및 이에 영향을 미치는 요소에 대한 체계적인 연구는 매우 부족한 실정이며, 국내

에서는 아직 보고된 바가 없다. 이러한 유병률에 대한 연구는 의사나 연구자들이 어디에 그들의 노력을 집중해야 되는지 알려주고 또한 뇌성 마비 환자들이 나이가 들어감에 따라 혹은 수술 이후 생길 수 있는 문제들에 대해 예측하여 대비할 수 있게 하기에 중요하다.⁹

따라서 본 연구에서는 독립적 보행이 가능한 경직성 뇌성마비 환자를 대상으로 보행분석 및 족저압 측정 결과를 분석하여 고관절, 슬관절, 발목 및 족부에서 나타나는 보행 이상 소견을 정의하고 이들의 유병률을 살펴보고자 하였으며 각각의 보행이상 소견과 나이, 정형외과적 수술 여부 그리고 전신 운동 기능 분류(gross motor function classification system, GMFCS) 상 기능 수준과의 연관성을 알아보려고 하였다.

연구대상 및 방법

1) 연구대상

2000년 1월부터 2006년 6월까지 연세의료원 재활병원 동작분석실에서 보행분석 검사를 시행받은 환자 중 경직성 뇌성마비로 진단 받은 320명의 보행분석 결과를 후향적으로 분석하였으며, 226명은 양지마비, 73명은 편마비, 13명

접수일: 2008년 2월 25일, 게재승인일: 2008년 8월 21일

교신저자: 김민준, 서울시 서대문구 신촌동 134번지

© 120-752, 연세의료원 재활병원 재활의학과

Tel: 02-2228-3730, Fax: 02-363-2795

E-mail: anaphylaxis@naver.com

은 사지마비였다(Table 1). 이 중 근건 연장술 등의 정형외과적 수술을 1회 이상 시행 받은 환아는 모두 49명(15.3%)이었다.

Table 1. Patients Demographics

	Diplegia	Hemiplegia	Quadriplegia
Number of subjects	226	73	21
Percent of total subjects	70.6%	22.8%	6.5%
Age (years)(mean±SD)	7.46±3.84	7.64±4.54	11.38±4.74
Sex (male : female)	141 : 85	52:21	16:5
GMFCS (I : II : III)	29:114:83	31:41:1	1:12:8

SD: Standard deviation, GMFCS: Gross motor function classification system

2) 방법

보행분석 검사는 VICON 370 Motion Analysis System (Oxford Metrics Inc., Oxford, UK)을 이용하여 보행 선형 지표와 운동형상학적 지표를 측정하였다. VICON 프로토콜에 따라 기립 정지 상태에서 천골 표식자, 양측 골반 표식자, 양측 대퇴 표식자, 양측 슬관절 표식자, 양측 경골 표식자, 양측 족관절 표식자, 양측 전족부 표식자 등 총 13개의 표식자를 부착하여 검사를 시행하였다. 검사 대상자의 신체부위에 표식을 부착하는 작업은 항상 한 명의 숙련된 검사자가 시행하여 오차를 줄이도록 하였다. 검사는 맨발인 상태에서 시행되었고 우선 8미터 길이의 보도를 수 차례 걸게하여 정상시의 자연스러운 보행을 유도하였으며, 검사하는 동안은 최소한 6차례 이상의 보행을 시도하여 측정치의 평균값을 사용하였다.

Table 2. Definitions of Gait Abnormalities

	Gait abnormality	Definition
Foot & Ankle	Equinus	Ankle plantarflexion >1 SD more than mean for normal during stance phase & no varus or valgus on foot scan
	Equinovarus	Ankle plantarflexion >1 SD more than mean for normal during stance phase & varus on foot scan (COPI >1 SD more than mean for normal)
	Equinovalgus	Ankle plantarflexion >1 SD more than mean for normal during stance phase & valgus on foot scan (COPI <1 SD less than mean for normal)
	Planovalgus	Without equinus & valgus on foot scan (COPI <1 SD less than mean for normal)
	Calcaneus	Ankle dorsiflexion >1 SD more than mean for normal during significant portion of stance phase (50% of stance phase)
	Normal foot	Normal kinematics of ankle & within 1 SD of mean for normal COPI
	Intoeing	Internal foot progression >1 SD more than mean for normal
Knee	Out-toeing	External foot progression >1 SD more than mean for normal
	Jump knee	Knee flexion at least 30° during early stance phase and incomplete knee extension during late swing phase, but, nearly normal (10°~20°) extension during mid or terminal stance phase
	Crouch knee	Knee flexion at least 30° throughout the stance phase & incomplete knee extension during late swing phase
Hip	Stiff knee	Peak knee flexion in the swing phase less than 45° & delay of peak knee flexion after 72% of the gait cycle
	Recurvatum knee	Knee extension in stance phase beyond 0°
	Scissoring	Knee adduction >1SD more than mean for normal during significant portion of swing phase (50% of swing phase)
	Excessive hip adduction	Knee adduction >1SD more than mean for normal during significant portion of stance phase (50% of stance phase)
	Excessive hip flexion	Peak hip extension during stance phase >1SD less than mean for normal
	Excessive internal rotation	Internal hip rotation >1SD more than mean for normal during significant portion of stance phase (50% of stance phase)
	Rotational malalignment	Excessive internal hip rotation with excessive external foot progression (>1SD more than mean for normal, regardless of cause, tibial torsion versus foot deformity)

SD: Standard deviation, COPI: Center of pressure index

Center of pressure index=(area in lateral column of foot scan)/(area in medial column of foot scan)

COPI of normal control group=1.3±0.2

족저압은 F-scan (Tekscan Inc., South Boston, MA)을 이용하여 측정하였다. 960개의 압력 감지점이 5 mm 간격의 격자 형식으로 균일하게 분포되어 있는, 두께가 0.15 mm인 압력 탐색자를 연구 대상자의 발크기에 맞게 잘라서 굵이 1 cm인 실내화에 부착시켜 10분간 보행적응을 시킨 후 검사를 하였다. 환자는 자연스럽게 원하는 속도로 보행하도록 하였고, 보행 중간의 5 걸음 동안의 족저압의 평균값을 측정하였다. 측정된 족저압은 FSCAN version 4.19 F 프로그램으로 분석하였으며, 족부의 내반 및 외반 여부를 결정하기 위하여 측정된 족저압을 외측과 내측으로 나누어 입각기의 전기간에 걸쳐 발바닥이 지면과 접촉되는 외측 면적을 내측 면적으로 나눈 값인 center of pressure index (COPI)를 계산하였다.¹⁰ 족부의 내반 및 외반 여부를 결정하기 위하여 12명의 정상소아(여아 5명, 남아 7명)의 24족부에서 측정된 족저압을 대조군으로 모집하였다. 대조군의 나이는 7.75±1.54세였으며 실험군의 평균 나이 7.73±4.19세와 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 대조군에서 측정된 COPI 값은 1.3±0.2이었으며, 이를 이용하여 족부를 관상면 상에서 내반변형을 보이는 경우(대조군에 비해 COPI 값이 1 표준편차를 초과하여 큰 경우)와 외반변형을 보이는 경우(대조군에 비해 COPI 값이 1 표준편차 미만으로 작은 경우)로 분류하였다.

상기 보행 분석과 족저압 측정을 통하여 측정된 운동형상학적 지표와 COPI 측정값을 이용하여 각 환자의 보행이상 소견을 고관절 부위 5가지, 슬관절 부위 4가지, 발목 및 족부 8가지로 분류하였다(Table 2).

SPSS 11, 0 for window을 이용하여 나이, 수술 여부, 기능적인 양상에 따른 보행이상 소견과의 상관관계를 로지스틱 회귀 분석으로 분석하였으며 p 값이 0.05 미만인 경우 의미 있는 것으로 하였다.

결 과

1) 보행 이상의 유형률

발목 및 족부에서 가장 흔한 보행이상 소견은 양지마비, 편마비, 사지마비 환자 군 모두에서 발가락 내향 보행(intoeing)이었다. 다음으로 흔한 것은 양지마비 군과 사지마비 환자 군에서는 외반 편평족(planovalgus foot)이었고, 편마비 환자 군에서는 내반첨족(equinovarus)이었다. 슬관절에서 가장 흔한 보행이상 소견은 양지마비, 편마비 환자 군에서는 도약 보행(jumping knee), 웅크림 보행(crouch knee) 순이었던 반면에 사지마비 환자 군에서는 웅크림 보행, 도약 보행 순이었다. 고관절에서 가장 흔한 보행이상은 모든 환자 군에서 고관절의 과도한 굴곡(excessive hip flexion)이었으며 다음으로 양지마비 군과 편마비 환자 군에서는 고관절의 과도한 내전(excessive hip adduction)이었고, 사지마비 환자 군에서는 고관절의 과도한 내회전(excessive internal rotation)이었다(Table 3).

정형외과적 수술을 받은 환자 군에서는 발목 및 족부에서 발가락 내향 보행의 유형률이 43%로 가장 흔한 보행이상 소견이었으나, 수술 받지 않은 환자 군의 66%에 비해 그 유형률이 낮았다. 또한 수술을 받은 환자 군에서 정상족

Table 3. Prevalence of Gait Abnormalities in Children with Spastic Cerebral Palsy

	Total patients	Diplegia	Hemiplegia	Quadriplegia
Foot & ankle	Intoeing (63.8%)	Intoeing (63.3%)	Intoeing (65.8%)	Intoeing (61.9%)
	Planovalgus (30.3%)	Planovalgus (31.9%)	Equinovarus (35.6%)	Planovalgus (47.6%)
	Equinovalgus (19.7%)	Equinovalgus (22.1%)	Planovalgus (20.5%)	Out-toeing (19.0%)
	Out-toeing (17.8%)	Out-toeing (18.1%)	Equinus (17.8%)	Equinovarus (19.0%)
	Equinovarus (16.9%)	Equinus (13.3%)	Out-toeing (16.4%)	Equinovalgus (14.3%)
	Equinus (14.1%)	Normal foot (11.1%)	Equinovalgus (13.7%)	Equinus (9.5%)
	Normal (10.9%)	Equinovarus (10.6%)	Normal foot (12.3%)	Normal foot (4.8%)
	Calcanus (5.3%)	Calcanus (6.6%)	Calcanus (1.4%)	Calcanus (4.8%)
	Jumping knee (32.8%)	Jumping knee (30.5%)	Jumping knee (42.5%)	Croch (47.6%)
	Knee	Crouch (28.8%)	Crouch (29.2%)	Crouch (21.9%)
Recurvatum (18.8%)		Recurvatum (19.9%)	Recurvatum (15.1%)	Recurvatum (19.0%)
Stiff knee (16.9%)		Stiff knee (18.1%)	Stiff knee (13.7%)	Stiff knee (14.3%)
Hip	Excessive hip flexion (60.6%)	Excessive hip flexion (65.0%)	Excessive hip flexion (46.8%)	Excessive hip flexion (61.9%)
	Excessive hip adduction (18.4%)	Excessive hip adduction (17.7%)	Excessive hip adduction (17.8%)	Excessive hip internal rotation (38.1%)
	Excessive hip internal rotation (15.6%)	Excessive hip internal rotation (14.6%)	Excessive hip internal rotation (12.3%)	Rotational alignment (28.6%)
	Rotational malalignment (15.3%)	Rotational malalignment (14.6%)	Rotational malalignment (9.6%)	Excessive hip adduction (28.6%)
	Scissoring (6.9%)	Scissoring (8.0%)	Scissoring (1.4%)	Scissoring (14.3%)

부(normal foot), 종족보행(calcanus gait)의 유병률이 높았던 반면 침족(equinus), 내반침족(equinovarus), 외반침족(equinovalgus) 소견은 드물었다. 슬관절에서는 수술 여부와 상관없이 도약 보행과 웅크림 보행이 가장 흔하였다. 고관절에서도 수술 여부와 상관없이 고관절의 과도한 굴곡이 가장 흔하였으나, 수술 후 고관절의 과도한 내회전의 유병률이 2.0%로 수술 받지 않은 환자군의 18.3%에 비해 그 유병률이 낮았다(Table 4).

2) 보행이상의 유병률에 영향을 미치는 요소

정형외과적 수술여부와 GMFCS상 기능수준을 보정하면, 환아의 나이가 증가할수록 발목 및 족부에서 침족, 내반침족, 외반침족 소견을 보이는 빈도는 낮아지고 외반 편평족 발생이 증가하였으며, 슬부에서는 뻣다리 보행(stiff knee) 및 도약 보행의 빈도는 낮아지고 웅크림 보행의 발생이 증가하였다. 또한 고관절에서는 나이가 증가할수록 하지의 회전 부정렬(rotational malalignment), 고관절의 과도한 내전 및 내회전, 고관절의 과도한 굴곡 등이 모두 증가하였다(Table 5).

환아의 나이와 GMFCS상 기능수준을 보정하면, 정형외과적 수술 후에는 발목 및 족부에서 내반침족 및 외반침족 변형의 빈도는 감소하고 종족보행과 정상족부 소견을 보이

는 빈도가 크게 증가하였으며, 발가락 내향 보행의 발생이 감소하였다. 슬관절에서는 수술 이후에 의미 있는 발생 빈

Table 4. Most Prevalent Gait Abnormalities for Cerebral Palsy with or without Previous Surgery

Previous surgery (n=271)	No previous surgery (n=49)
Prevalence of foot and ankle gait abnormalities	
Intoeing (42.9%)	Intoeing (66.1%)
Planovalgus (26.5%)	Planovalgus (30.7%)
Out-toeing (24.5%)	Equinovarus (21.2%)
Normal foot (22.4%)	Equinovalgus (20.2%)
Calcanus (20.4%)	Out-toeing (16.5%)
Equinus (6.1%)	Equinus (15.1%)
Equinovalgus (4.1%)	Normal foot (10.6%)
Equinovarus (4.1%)	Calcanus (1.8%)
Prevalence of knee gait abnormalities	
Jumping knee (32.7%)	Jumping knee (38.1%)
Crouch (26.5%)	Crouch (27.5%)
Stiff knee (20.4%)	Recurvatum (15.1%)
Recurvatum (16.3%)	Stiff knee (14.7%)
Prevalence of hip gait abnormalities	
Excessive hip flexion (59.2%)	Excessive hip flexion (56.4%)
Excessive hip adduction (16.3%)	Excessive hip internal rotation (18.3%)
Rotational malalignment (10.2%)	Excessive hip adduction (13.8%)
Excessive hip internal rotation (2.0%)	Rotational malalignment (13.3%)
Scissoring (2.0%)	Scissoring (4.6%)

Table 5. Adjusted Odd Ratios for Gait Abnormalities with Age (Adjusted for Previous Surgery and GMFCS)

Gait abnormality	Odd ratio	95.0% C.I	Significance
Planovalgus	1.296	1.205 1.394	0
Crouch	1.15	1.084 1.22	0
Rotational malalignment	1.08	1.008 1.158	0.007
Excessive hip adduction	1.077	1.007 1.151	0.031
Excessive hip internal rotation	1.072	1.002 1.147	0.043
Excessive hip flexion	1.06	1.001 1.122	0.044
Calcanus	1.035	0.915 1.171	0.584
Out-toeing	1.029	0.962 1.1	0.409
Intoeing	0.965	0.913 1.02	0.207
Scissoring	0.957	0.835 1.096	0.523
Normal foot	0.931	0.845 1.026	0.152
Recurvatum	0.93	0.856 1.011	0.09
Jumping knee	0.914	0.858 0.973	0.005
Equinovalgus	0.909	0.835 0.989	0.026
Equinovarus	0.905	0.83 0.987	0.024
Stiff knee	0.904	0.823 0.992	0.034
Equinus	0.66	0.547 0.796	0

C.I: Confiden index

*p-value<0.05, the odd ratio differs significantly from 1.0

Table 6. Adjusted Odd Ratios for Gait Abnormalities with Previous Surgery (Adjusted for Age and GMFCS)

Gait abnormality	Odd ratio	95.0% C.I	Significance
Calcanus	12.273	4.08 36.916	0
Normal foot	2.936	1.302 6.62	0.009
Out-toeing	1.32	0.607 2.869	0.484
Stiff knee	1.289	0.551 3.018	0.558
Recurvatum	1.082	0.467 2.511	0.854
Excessive hip adduction	1.041	0.444 2.437	0.927
Jumping knee	0.954	0.485 1.876	0.892
Excessive hip flexion	0.949	0.499 1.806	0.874
Crouch	0.887	0.43 1.833	0.747
Rotational malalignment	0.661	0.243 1.802	0.419
Planovalgus	0.512	0.734 2.853	0.109
Equinus	0.475	0.133 1.695	0.251
Intoeing	0.406	0.215 0.767	0.005
Scissoring	0.369	0.047 2.895	0.369
Equinovarus	0.181	0.042 0.778	0.022
Equinovalgus	0.177	0.041 0.757	0.02
Excessive hip internal rotation	0.091	0.012 0.683	0.02

C.I: Confiden index

*p-value<0.05, the odd ratio differs significantly from 1.0

Table 7. Adjusted Odd Ratios for Gait Abnormalities with GMFCS (Adjusted for Age and Previous Surgery)

Gait abnormality	Odd ratio	95.0% C.I	Significance
Stiff knee	2.583	1.57 4.102	0
Scissoring	2.347	1.159 4.753	0.018
Recurvatum	2.028	1.304 3.155	0.002
Excessive hip flexion	1.948	1.381 2.746	0
Calcanus	1.765	0.828 3.763	0.141
Rotational malalignment	1.568	0.988 2.488	0.056
Excessive hip internal rotation	1.465	0.931 2.307	0.099
Excessive hip adduction	1.461	0.956 2.234	0.08
Crouch	1.423	0.991 2.043	0.056
Equinus	1.319	0.825 2.108	0.247
Intoeing	1.262	0.903 1.762	0.172
Planovalgus	1.253	0.881 1.782	0.209
Equinovalgus	1.181	0.787 1.772	0.422
Out-toeing	0.856	0.564 1.3	0.467
Normal foot	0.667	0.399 1.115	0.123
Equinovarus	0.65	0.422 0.999	0.049
Jumping knee	0.525	0.368 0.749	0

C.I: Confiden index

*p-value < 0.05, the odd ratio differs significantly from 1.0

도의 변화는 관찰되지 않았으나, 고관절에서는 과도한 내회전의 발생빈도가 의미 있게 감소하였다(Table 6).

정형외과적 수술여부와 환자의 나이를 보정하면, GMFCS로 측정된 환자의 기능수준이 낮을수록 발목 및 족부에서 내반침족의 발생빈도가 감소하였다. 슬관절에서 도약 보행의 발생 빈도는 감소하고 뺨정다리 보행이나 반장슬(recurvatum knee)의 빈도가 증가하였으며 고관절에서는 가위보행(scissoring)이나 과도한 고관절 굴곡의 발생 빈도가 증가하였다(Table 7).

고 찰

현재까지 경직성 뇌성 마비에서 발목 및 족부에서 나타나는 비정상 보행은 다양하나 주로 침족이 가장 흔한 것으로 알려져 있다.^{2,11,12} 하지만 본 연구에서는 발목 및 족부의 가장 흔한 비정상 보행은 보행 시 족부의 전진이 횡단면상에서 내측을 향하게 되는 발가락 내향 보행(63.8%)이었고 이는 양지마비, 사지마비, 편마비 모두에서 가장 흔히 관찰되었다. 침족의 유병률은 관상면상의 이상이 동반된 내반침족과 외반침족을 모두 포함했을 때 50.7%로 두 번째로 흔히 관찰되었다. Wren 등⁹의 연구에서도 발가락 내향 보행을 뇌성마비의 족부에서 가장 흔한 보행이상으로 보고하였으며 그 유병률도 64%로 본 연구와 거의 같은 결과를 보였다. 하지만 발가락 내향 보행은 중족골 내전이나 내반족과

같은 족부 이상 외에도 고관절 내전근과 내회전근 그리고 슬와부 근육의 경직에 의한 대퇴골 전경의 증가, 경골 내측 회전의 증가 등에 의해 발생할 수 있다.¹³ 따라서 발가락 내향 보행은 족부의 보행이상 소견이라기보다는 고관절, 슬관절, 발목 및 족부에 걸친 하지 전체의 복합적인 이상소견의 결과이기 때문에 순수하게 발목 및 족부에서 발생하는 보행 이상은 하퇴삼두근의 경직에 의한 침족이 가장 흔하다고 할 수 있다. 발가락 내향 보행 다음으로 흔한 보행이상은 양지마비와 사지마비 환아군에서는 외반 편평족이었으며 편마비 환아군에서는 내반침족이었다. 편마비 환아군에서 다른 환아군에 비해 내반침족이 2.6 : 1 정도로 더 많이 관찰되었다. 양지마비 환자나 사지마비 환자의 경우 침족 또는 내반침족 소견을 보였던 족부에 체중이 지속적으로 부하되면 중족부(mid-foot)와 후족부(hindfoot)에 스트레스가 가해지게 되고 후경골근의 기능이 저하되면 점차 세로 발궁(longitudinal arch of foot)이 무너지면서 발목 및 족부에서 외반 변형이 발생하게 된다.^{14,15} 하지만 편마비 환자의 경우에는 건측에 주로 체중부하를 하고 환측에 체중부하를 하지 않는 보행패턴을 보이는 경우가 많기 때문에 양지마비나 사지마비 환자에 비해 외반 변형이 적은 것으로 생각한다. 이환 부위에 따른 내반과 외반 변형의 빈도를 분석한 이전 연구들에서도 양지마비 환자나 사지마비 환자의 경우 외반 변형이 상대적으로 많았고 편마비 환아군에서는 타 환아군에 비해 내반 변형이 16 : 1 ~ 1 : 1 정도로 많거나¹⁶ 거의 같은 빈도를 보였다.¹¹ 본 연구에서도 편마비 환아군에서 다른 환아군에 비해 내반 침족이 2.6 : 1 정도로 더 많이 관찰되었다.

경직성 뇌성 마비 환자의 슬관절에서 나타나는 보행이상은 양지마비와 편마비 환아군에서 도약 보행이 가장 흔하였으며 사지마비 환자 군에서는 웅크림 보행이 흔하였다. Wren 등⁹의 연구에서는 뺨정다리 보행(80%)이 가장 흔한 것으로 보고하였는데 이는 전술한 바와 같이 Surtherland와 Davids⁴의 분류와 달리 도약 보행을 빼고 슬관절의 보행이상을 웅크림 보행, 뺨정다리 보행 및 반장슬 보행의 3가지로 분류하여, 유각기시에 슬관절의 신전이 정상에 가깝게 되지만 지체되어 나타나는 도약 보행이 뺨정다리 보행으로 편입되었기 때문이다. 또한 사지마비 환아들의 경우 웅크림 보행이 가장 흔한 것으로 나타났는데, 이는 양지마비 환아와 편마비 환아(평균 나이 7.54±4.56세)에 비해 사지마비 환아의 나이(평균 나이 11.38±4.74세)가 통계적으로 유의하게 많은 사실을 고려해 볼 때(p < 0.05), 이환 부위에 따른 차이보다는 연령 차이에 따른 현상으로 생각한다. 그 이유는 도약 보행은 주로 고관절 내전근과 굴근 그리고 슬와부 근육의 과도한 수축 및 경직에 의해 나타나는데⁴ 연령이 증가할수록 이 근육들에 구축이 나타나고 하퇴삼두근의 구축 또는 위약이 동반되어⁴⁷ 점차 웅크림 보행으로 진행하기 때문이다. 본 연구의 나이에 따른 유병률의 회귀 분석에서도

연령이 증가함에 따라 관절에서 웅크림 보행을 보일 확률이 증가함을 보여준다.

고관절에서는 모든 환자군에서 과도한 굴곡이 가장 흔하였다. 고관절의 과도한 굴곡은 흔히 요골근의 구축에 의해 발생하고 이것은 앞서 언급한 것처럼 웅크림 보행의 원인이 되기도 한다. 본 연구에서는 나이가 증가할수록, 전신 운동 기능이 저하될수록 고관절의 과도한 굴곡을 보이는 빈도가 증가되는 것이 관찰되었다. Bell 등¹⁷의 연구에서도 좀더 기능적인 보행을 하는 환아의 경우 과도한 굴곡의 정도가 연령이 증가함에 따라 호전되고, 그렇지 못한 환아의 경우 굴곡의 정도에 변화가 없거나 악화되는 추세를 보인다고 보고된 바 있다.

본 연구에서는 앞서 기술한 뇌성마비 환아의 보행이상 발생에 영향을 미치는 요소로서 연령, 수술적 치료 여부 그리고 기능적 수준 등을 분석하였다. 그 동안 뇌성 마비 환아들의 연령이 증가함에 따라 보행이상이 어떻게 변화되는지 관찰한 연구가 있었으나 주로 보장과 보행속도, 균형 등의 변화를 분석한 것이었다.^{17,18} 이에 따르면 환아의 성장에 따른 다리 길이 변화가 없다고 가정한다면 대체적으로 나이가 증가함에 따라 보행 속도와 보장이 감소하게 되며 보행시 관절 운동 범위가 줄어들게 된다. 하지만 이러한 연구들에서는 나이와 운동 형상학적 수치간의 산술적 연관성만을 분석하였기 때문에, 보행양상의 분류 상 어떤 변화가 생기게 되는지를 파악하는 데 어려움이 있었다. 본 연구에서 연령과 가장 밀접한 상관 관계를 가지는 보행 양상의 변화는 족부에서 외반 편평족을 가질 확률이 증가하고 내반첨족과 외반첨족을 포함한 침족의 비율이 감소하는 것이었다. Bell 등¹⁷의 연구에서도 연령이 증가한 후 측정된 보행 분석에서 유각기의 족부 배굴 및 입각기의 최대 족부 배굴의 각도가 증가하는 등 침족 변형의 감소를 보고하였다. 이는 전술한 바와 같이 연령이 증가함에 따른 지속적인 체중부하가 침족 변형을 보이는 뇌성마비 아동의 족부의 중족부와 후족부에 스트레스를 가하여 세로발굽이 무너지면서 외반 편평족으로 변화하기 때문인 것으로 생각한다. 슬관절에서는 웅크림 보행이, 고관절에서는 고관절의 과도한 굴곡이 차지하는 비율이 증가하였다. 경직성 뇌성마비 환자에서 경직을 보이는 근육의 성장이 골격의 성장보다 지체되는 것으로 알려져 있는데, 이러한 이유로 연령이 증가함에 따라 경직으로 인한 과도한 수축을 보이던 슬와부 근육 및 고관절 굴곡근의 구축이 발생^{5,19}하고 관절 가동 범위가 점차 감소^{17,20}하여 고관절의 과도한 굴곡과 슬관절의 웅크림 보행이상이 증가하는 것으로 생각한다.

정형외과적인 수술 이후 발목 및 족부에서는 여전히 발가락 내향 보행이 가장 흔하였으나 66.1%에서 42.9%로 감소된 양상을 보였으며 시상면상의 침족 변형이 감소하고 종족 보행과 정상 족부의 비율이 증가하였다. 이는 침족 보행이 임상에서 가장 흔히 관찰되고 관심의 대상이 되는 보

행이상이며 이를 교정하기 위한 수술도 가장 광범위하게 이루어지고 있기 때문이다. 본 연구에서도 정형외과적 수술을 시행한 49명의 환자 중 45명(92%)에서 침족의 교정술이 시행되었다. 하퇴삼두근의 구축으로 인한 침족의 교정을 위한 수술적 방법으로 아킬레스 건 연장술과 비복근 연장술 등이 있는데 술 후 많은 환자에서 보행 분석 검사상 운동 형상학적, 운동 역학적 지표가 정상에 가깝게 개선되었다고 보고된 바 있으며^{12,21-23} 족저압 검사를 이용한 본 저자들의 이전 연구에서도 시상면 뿐만 아니라 관상면상의 지표들도 호전되는 결과를 관찰할 수 있었다.²⁴ 하지만 수술 후 침족의 과도한 교정으로 인한 종족 보행의 발생이 30~36%까지 보고^{12,23}되고 있다. 본 연구에서도 수술 후 종족 보행의 증가가 뚜렷한 것으로 분석되었다(Table 6). 발목 및 족부와는 달리 슬관절 및 고관절에서는 고관절 내회전의 유병률이 수술한 경우(2.0%)에서 수술하지 않은 경우(18.3%)보다 감소된 것을 제외하고는 수술여부에 따른 보행이상 유병률의 차이가 거의 없었다(Table 4). 많은 이전 연구에서 정형외과적인 수술 이후 슬관절이나 고관절 모두에서 관절의 운동 범위가 증가^{21,22}하고 웅크림 보행과 고관절의 과도한 굴곡이 호전된다²⁵⁻²⁷고 보고하였는데 이번 연구에서는 이런 변화가 뚜렷하지 않았다. 이러한 결과의 원인으로는 하퇴 삼두근 연장술을 포함한 복합적인 정형외과적인 수술 이후 족부 배굴의 정도는 정상화 되지만 슬관절이나 고관절의 신전에 필요한 족저 굴곡 근육의 긴장도는 오히려 감소하고,²¹ 또한 슬와부 근육의 연장술을 한 경우에도 슬관절의 관절 범위 운동은 좋아지나 고관절의 신전에 필요한 근력이 저하됨으로써 과도한 굴곡이 지속되는 것²⁶ 등을 고려해 볼 수 있다.

뇌성 마비 환아의 대운동 기능 발달 상 더 기능적인 환아일수록 보행 속도도 빠르고 보장 거리도 길며 시상면 상에서 관절의 운동 범위도 더 크다.^{17,28} 그렇지만 보행 이상을 분류하여 기능 수준과의 연관성에 대한 연구는 아직 없는 상태이다. 이번 연구에서는 뇌성 마비 환아들의 운동기능을 비교적 간단히 분류할 수 있는 전신 운동기능 분류법을 사용하여 보행이상과의 상관성을 조사하였다. 전신 운동기능 분류법과 보행 이상과의 로지스틱 회귀 분석에서 슬관절의 보행이상의 연관성이 다른 관절 보다 높게 나왔는데 특히 전신 운동기능이 떨어질수록 슬관절의 뻗다리 보행이나 반장슬 보행을 가질 확률이 유의하게 높았다. 슬관절의 뻗다리 보행은 대퇴직근의 비정상적인 활동에 의해 주로 발생⁴⁷하고 반장슬 보행은 대부분 하퇴삼두근의 구축 및 경직, 그리고 슬와부 근육의 위약에 의해 발생⁴⁷하는 것으로 알려져 있다. 최근의 연구에 의하면 이러한 슬와부 근육과 대퇴직근의 경직이나 근력이 운동 기능과 높은 연관성이 있다고²⁹⁻³¹ 보고된 바 있어 슬관절의 보행이상과 운동 기능과의 연관성이 높은 이번 연구 결과를 뒷받침 하고 있다. 또한 고관절에서는 전신 운동 기능이 낮을수록 가위

보행의 빈도가 증가되었다. 가위 보행은 고관절 내전근의 경직과 외전근의 위약에 의한 동적 불균형에 의해 주로 발생하게 되는데^{32,33} 최근에 Ross 등³⁰이 고관절 외전근의 근력이 다른 근육들보다 보행 기능과 연관성이 가장 높다고 보고하여 본 연구와 유사한 결과를 보였다. 따라서 경직성 뇌성 마비 환아에서 대퇴직근, 슬와부 근육, 하퇴삼두근, 고관절 외전근의 근력이나 경직으로 인한 각 관절의 보행 이상이 전신 운동기능에 주로 영향을 미치는 것으로 생각한다.

결 론

경직성 뇌성 마비 환자의 발목 및 족부에서 관찰되는 가장 흔한 보행이상은 발가락 내향 보행이었다. 이환 부위에 따른 비교 시 양지마비와 사지마비 환자에서는 외반 편평족이, 편마비 환자에서는 내반첨족이 관찰되는 경우가 많았다. 슬관절에서는 도약 보행이 가장 흔한 보행 이상이었는데 비교적 연령대가 높은 사지마비 환자 군에서는 웅크림 보행이 보다 많이 관찰되었다. 고관절에서 가장 흔한 보행이상은 이환 부위에 상관없이 과도한 굴곡이었다.

환자의 연령이 증가함에 따라 발목 및 족부에서는 내반첨족과 외반첨족을 포함한 첨족 변형의 빈도가 감소되고 외반 편평족이 많이 발생하며, 슬관절에서는 뻗정다리나 도약 보행이 감소하고 웅크림 보행이 증가하였다. 또한 고관절에서는 과도한 내전, 내회전 및 굴곡이 많이 관찰되었다. 정형외과적인 수술 후에는 내반첨족이나 외반첨족이 교정되어 정상족부 소견을 보이는 경우가 증가하는 반면에 종족 보행의 발생도 증가하였다. 뇌성 마비 환자의 운동 기능이 낮을수록 슬관절에서는 뻗정다리 보행이나 반장슬 보행이, 고관절에서 가위 보행을 보일 확률이 높아진다.

참 고 문 헌

- Gabriella E. Molnar MMAA, MD. Pediatric rehabilitation, 3rd ed, Philadelphia: HANLEY & BELFUS, INC., 1999, 193-218
- Banks HH. The management of spastic deformities of the foot and ankle. Clin Orthop Relat Res 1977; 122: 70-76
- Winters TF Jr, Gage JR, Hicks R. Gait patterns in spastic hemiplegia in children and young adults. J Bone Joint Surg Am 1987; 69: 437-441
- Sutherland DH, Davids JR. Common gait abnormalities of the knee in cerebral palsy. Clin Orthop Relat Res 1993; 288: 139-147
- Crenna P. Spasticity and 'spastic' gait in children with cerebral palsy. Neurosci Biobehav Rev 1998; 22: 571-578
- Hullin MG, Robb JE, Loudon IR. Gait patterns in children with hemiplegic spastic cerebral palsy. J Pediatr Orthop B 1996; 5: 247-251
- Lin CJ, Guo LY, Su FC, Chou YL, Cherng RJ. Common abnormal kinetic patterns of the knee in gait in spastic diplegia of cerebral palsy. Gait Posture 2000; 11: 224-232
- Rodda JM, Graham HK, Carson L, Galea MP, Wolfe R. Sagittal gait patterns in spastic diplegia. J Bone Joint Surg Br 2004; 86: 251-258
- Wren TA, Rethlefsen S, Kay RM. Prevalence of specific gait abnormalities in children with cerebral palsy: influence of cerebral palsy subtype, age, and previous surgery. J Pediatr Orthop 2005; 25: 79-83
- Oeffinger DJ, Pectol RW Jr, Tylkowski CM. Foot pressure and radiographic outcome measures of lateral column lengthening for pes planovalgus deformity. Gait Posture 2000; 12: 189-195
- Bennet GC, Rang M, Jones D. Varus and valgus deformities of the foot in cerebral palsy. Dev Med Child Neurol 1982; 24: 499-503
- Borton DC, Walker K, Pirpiris M, Natrass GR, Graham HK. Isolated calf lengthening in cerebral palsy. Outcome analysis of risk factors. J Bone Joint Surg Br 2001; 83: 364-370
- Rethlefsen SA, Healy BS, Wren TA, Skaggs DL, Kay RM. Causes of intoeing gait in children with cerebral palsy. J Bone Joint Surg Am 2006; 88: 2175-2180
- Reimers J, Pedersen B, Brodersen A. Foot deformity and the length of the triceps surae in Danish children between 3 and 17 years old. J Pediatr Orthop B 1995; 4: 71-73
- Staheli LT. Planovalgus foot deformity. Current status. J Am Podiatr Med Assoc 1999; 89: 94-99
- O'Connell PA, D'Souza L, Dudeney S, Stephens M. Foot deformities in children with cerebral palsy. J Pediatr Orthop 1998; 18: 743-747
- Bell KJ, Ounpuu S, DeLuca PA, Romness MJ. Natural progression of gait in children with cerebral palsy. J Pediatr Orthop 2002; 22: 677-682
- Johnson DC, Damiano DL, Abel MF. The evolution of gait in childhood and adolescent cerebral palsy. J Pediatr Orthop 1997; 17: 392-396
- O'Byrne JM, Jenkinson A, O'Brien TM. Quantitative analysis and classification of gait patterns in cerebral palsy using a three-dimensional motion analyzer. J Child Neurol 1998; 13: 101-108
- Wright J, Rang M. The spastic mouse. And the search for an animal model of spasticity in human beings. Clin Orthop Relat Res 1990; 253: 12-19
- Lyon R, Liu X, Schwab J, Harris G. Kinematic and kinetic evaluation of the ankle joint before and after tendo achilles lengthening in patients with spastic diplegia. J Pediatr Orthop 2005; 25: 479-483
- Park CI, Park ES, Kim HW, Rha DW. Soft tissue surgery for equinus deformity in spastic hemiplegic cerebral palsy: effects on kinematic and kinetic parameters. Yonsei Med J 2006; 47: 657-666

- 23) Segal LS, Thomas SE, Mazur JM, Mauterer M. Calcaneal gait in spastic diplegia after heel cord lengthening: a study with gait analysis. *J Pediatr Orthop* 1989; 9: 697-701
- 24) Park ES, Rha DW, Choi JE, Park CW, Chung HL. The changes of foot pressure distribution in spastic cerebral palsy with equinus deformity following corrective surgery. *J Korean Acad Rehabil Med* 2005; 29: 507-512
- 25) Delp SL, Arnold AS, Speers RA, Moore CA. Hamstrings and psoas lengths during normal and crouch gait: implications for muscle-tendon surgery. *J Orthop Res* 1996; 14: 144-151
- 26) Rodda JM, Graham HK, Nattrass GR, Galea MP, Baker R, Wolfe R. Correction of severe crouch gait in patients with spastic diplegia with use of multilevel orthopaedic surgery. *J Bone Joint Surg Am* 2006; 88: 2653-2664
- 27) Waters RL, Frazier J, Garland DE, Jordan C, Perry J. Electromyographic gait analysis before and after operative treatment for hemiplegic equinus and equinovarus deformity. *J Bone Joint Surg Am* 1982; 64: 284-288
- 28) Damiano DL, Abel MF. Relation of gait analysis to gross motor function in cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 1996; 38: 389-396
- 29) Goh HT, Thompson M, Huang WB, Schafer S. Relationships among measures of knee musculoskeletal impairments, gross motor function, and walking efficiency in children with cerebral palsy. *Pediatr Phys Ther* 2006; 18: 253-261
- 30) Ross SA, Engsberg JR. Relationships between spasticity, strength, gait, and the GMFM-66 in persons with spastic diplegia cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil* 2007; 88: 1114-1120
- 31) Tuzson AE, Granata KP, Abel MF. Spastic velocity threshold constrains functional performance in cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil* 2003; 84: 1363-1368
- 32) Calderon-Gonzalez R, Calderon-Sepulveda R, Rincon-Reyes M, Garcia-Ramirez J, Mino-Arango E. Botulinum toxin A in management of cerebral palsy. *Pediatr Neurol* 1994; 10: 284-288
- 33) Mall V, Heinen F, Siebel A, Bertram C, Hafkemeyer U, Wissel J, Berweck S, Haverkamp F, Nass G, Doderlein L, et al. Treatment of adductor spasticity with BTX-A in children with CP: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Dev Med Child Neurol* 2006; 48: 10-13