

경직형 편측 뇌성마비 환아에서 침족 보행에 대한 수술 후 보행 양상의 변화

주선영 · 박희완 · 박건보 · 김현우

연세대학교 의과대학 정형외과학교실

목적: 경직형 편측 뇌성마비 환아에서 침족 보행에 대한 수술을 시행할 경우 상위 관절 및 골반의 운동에 미치는 영향을 관찰하고자 하였다.

대상 및 방법: 수술 후 최소 1년 이상 추적, 관찰이 가능하였던 16명의 환아를 대상으로 신체검사 및 3차원 보행 분석을 시행하였다.

결과: 족근 관절에서는 최초 접지기, 최초 진출기 및 발가락 떼기 시 배측 굴곡이 증가하였고 입각기 및 유각기에서의 평균 배측 굴곡 각도도 의미있게 증가하였다. 골반에서는 최초 접지 및 보행 주기 전반의 평균 전방 경사 각도가 모두 의미있게 감소하였다. 수술 후 진출기때 족근 관절 힘 생성의 저하는 관찰되지 않았으며, 슬관절 과신전 보행 패턴을 보였던 환아에서의 최초 접지기때 슬관절 굴곡 각도는 의미있게 증가하였고 입각기때 최대 신전 시 굴곡 각도도 증가하였다. 입각기의 평균 모멘트가 수술 전 굴곡 모멘트에서 수술 후 신전 모멘트로 변화하였으며 최대 굴곡 모멘트도 감소하였다. 보행 주기 동안 마비측의 골반이 외 회전되는 양상을 보였던 환아의 경우, 최초 접지 및 보행 주기 동안의 평균 골반 외 회전 각도가 모두 의미있게 감소되었다.

결론: 경직형 편측 뇌성마비 환아에서 족근 관절의 경직 및 침족 변형은 슬관절과 골반 등 상위관절의 병적 움직임을 유발하며, 수술 후 족근 관절의 이상소견이 호전됨에 따라 슬관절과 골반 등 상위 관절의 이상 보행패턴도 호전됨을 확인하였다.

색인 단어: 경직형 편측 뇌성마비, 침족 보행, 보행 분석

Changes in Gait Pattern After Surgeries for Equinus Gait in Cerebral Palsy Spastic Hemiplegia

Sun Young Joo, M.D., Hui Wan Park, M.D., Kun Bo Park, M.D., and Hyun Woo Kim, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Purpose: To evaluate the effects of surgery for an equinus gait on the kinematic and kinetic parameters of ankle and proximal joints in cerebral palsy spastic hemiplegics.

Materials and Methods: Sixteen spastic hemiplegic patients who had undergone a surgical correction for equinus were enrolled in this study. The kinematic and kinetic parameters during gait were assessed using computed gait analysis before and after surgery.

Results: Postoperatively, the ankle range of motion was significantly improved and the temporospatial parameters were not significantly changed. The angular movement of the ankle joint and pelvis were improved. However, the kinetic parameters of the ankle joint were unaffected. In patients with a recurvatum knee gait pattern prior to surgery, the kinematic and kinetic parameters of the knee joint were significantly improved. The angular movements of pelvis after surgery were improved in patients with pelvic external rotation preoperatively.

Conclusion: Genu recurvatum and pelvic external rotation during the gait in spastic hemiplegic CP might be improved by a surgical correction of the equinus deformity.

Key Words: Spastic hemiplegia, Equinus gait, Gait analysis

통신저자 : 김 현 우
서울시 서대문구 신촌동 134
연세대학교 의과대학 세브란스병원 정형외과학교실
TEL: 02-2228-2187 · FAX: 02-363-1139
E-mail: pedhkim@yumc.yonsei.ac.kr

Address reprint requests to
Hyun Woo Kim, M.D.
Department of Orthopaedic Surgery, Severance Hospital, Yonsei University College of
Medicine, 134 Sinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul 120-752, Korea
Tel: +82.2-2228-2187, Fax: +82.2-363-1139
E-mail: pedhkim@yumc.yonsei.ac.kr

*본 논문의 요지는 2004년도 대한정형외과학회 추계학술대회에서 발표되었음.

침족 보행(equinus gait)은 뇌성마비 환아에서 가장 흔히 관찰되는 이상 보행 형태로 전 경골근의 약화, 비복근 혹은 가자미근의 과긴장성 및 구축으로 유발된다. 정상 보행에서 일어나는 하퇴 삼두근의 기능으로 중간 입각기 때 거골의 상부에서 경골이 회전하는 것을 감속시키는 편심성 수축(eccentric contraction)과 후기 입각기(late stance phase)의 진출기(push-off) 때 일어나는 동심성 수축(concentric contraction)을 들 수 있으며⁴⁾, 침족 보행 시에는 이러한 하퇴 삼두근의 기능이 소실되어 전족부에 의한 비정상적인 최초 접지(initial contact)가 일어나고 초기 입각기(early-stance phase)에서 중간 입각기(mid-stance phase) 사이에 족저 굴곡이 증가된다^{3,5,12)}. 한편, 침족 보행과 더불어 슬관절에서도 비정상적인 움직임이 일어날 수 있는데 Sutherland 및 Davids¹⁴⁾와 Winters 등¹⁵⁾이 제시한 소위 “과신전 무릎(hyperextended knee)” 보행은 입각기 때 족근 관절에서의 침족 보행과 더불어 슬관절이 과신전되고 고관절이 굴곡되는 양상을 의미한다. 이는 하퇴 삼두근의 경직에 의해 족저 굴곡-슬관절 신전 조합(plantar flexion-knee extension coupling)이 과도하게 이루어져 발생하는 보행으로, 침족 보행에 대한 치료가 슬관절 혹은 고관절에서의 변화를 포함한 전반적인 보행 양상의 변화를 유발시킬 수 있음을 시사한다.

한편, 하퇴 삼두근 경직에 대한 치료로 보조기나 석고붕대의 착용, 신경 차단술(nerve block) 혹은 보톡스 주사(Botox injection) 등이 적용될 수 있으나 실제 많은 수의 환아에서는 결국 아킬레스건 혹은 비복근에 대한 연장술이 시행되며 과거 이러한 수술 후 보행 양상의 변화에 대해 연구는 많았다^{2,12,13)}. 그러나 실제 경직형 편측 뇌성마비 환아의 경우는 환측의 비정상적인 보행과 건측의 보상운동(compensatory movement)으로 인해 시상면(sagittal plane), 관상면(coronal plane) 및 횡단면(transverse plane)에서의 변화가 양하지 마비 환아와는 다른 양상으로 나타나며, 과거 연구는 주로 양하지 마비(diplegia) 환아를 대상으로 족근 관절에 대한 수술 뿐 만 아니라 슬관절이나 고관절에 대한 연부조직 수술 혹은 뼈에 대한 회전 절골술 등을 동시에 시행하였던 경우에 대한 치료 결과였다^{12,13)}. 본 저자들은 족근 관절에 대한 수술만을 시행한 경직형 편측 뇌성마비 환아를 대상으로 수술 전후 신체검사와 보행 분석 검사를 시행하였

으며, 침족 보행에 대한 수술 자체가 상위 관절(upper joints) 및 골반의 운동에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

연구 대상 및 방법

1. 연구대상

2000년 3월부터 2003년 2월까지 수술 받은 경직형 편측 뇌성마비 환아 중, 하지의 회전 변형(torsional deformity of the lower extremity)이나 병적 편평족(pathologic flatfoot) 등 소위 “lever-arm disease”가 동반되어 이에 대한 절골술이 동시에 시행되었던 경우를 제외하고, 아킬레스건 혹은 비복근 연장술을 포함한 족근 관절에 대한 수술만을 시행 받은 16명의 환아를 대상으로 하였다. 수술 당시 평균 연령은 8.25 ± 3.5 세였고, 수술 후 신체검사 및 보행 분석 추적검사까지의 기간은 평균 16.64 ± 4.66 개월이었다. 각각 남아가 11명, 여아가 5명이었고 우측 편마비가 6명, 좌측 편마비가 10명이었다. 침족 변형에 대한 수술로서 3명의 환아에서 비복근 연장술, 13명의 환아에서 아킬레스건 연장술이 시행되었으며 동반된 수술이 슬관절의 운동에 직접적으로 영향을 미치지 않는 경우 연구 대상에 포함하였다²⁾. 동반된 수술로는 후 경골근의 단 비골근으로의 분할 이전술(tibialis posterior split transfer to peroneus brevis) 5예, 후 경골근 연장술(tibialis posterior lengthening) 2예, 전 경골근의 입방골로의 분할 치환술을 동반한 후 경골근 연장술(tibialis posterior lengthening with tibialis anterior split transfer to cuboid) 1예, 장 족저 굴곡근 연장술(flexor digitorum longus lengthening) 1예였다.

2. 연구방법

1) 신체검사 및 보행 분석 방법

보행 분석 전 신체검사를 통하여 족근 관절의 족저 및 배측 굴곡 각도를 측정하였으며, 이는 각각 슬관절의 90° 굴곡 및 완전 신전 위에서 최소 5° 단위로 측정되었다. 보행은 3차원 보행분석기인 Vicon 370 Motion Analysis System (Oxford Metrics Inc., Oxford, UK)을 이용하여 시공간적인 지표(temporospatial data), 운동형상학적 지표(kinematic data) 및 운동역학적 지표(kinetic data)의 수술 전후 변화를 관찰하여 분석하였

다. 13개의 수동표식자를 각각 제1 천추골, 양측 전상방 장골극, 대퇴골 외측면 중간지점, 외측 상과의 직하방의 슬관절축, 비골 외측면의 중간지점, 외측 복사골, 두번째와 세번째 중족골 사이에 부착하였으며 검사 전 10 m 길이의 보도를 수 차례 걷게 하여 자연스러운 보행을 유도하였고 검사하는 동안 최소 10차례의 보행을 시도하여 분석하였다. 운동학적 지표는 보도 중간에 숨겨져 있는 힘판(force plate)에서 기록되는 지면 반발력(ground reaction force)으로 측정되었고 이를 통한 관절의 모멘트는 내부 모멘트(internal moment)로 기록되었다.

2) 슬관절 과신전 보행 및 골반 외측 회전 보행 환아의 분류

전체 환아 중 입각기때 슬관절의 과신전 보행패턴을 보였던 환아는 모두 8명이었는데, 이는 중기 및 말기 입각기때 정상 범위 이상으로 무릎의 과신전이 일어나고 이로 인해 슬관절의 내부 모멘트가 굴곡 모멘트로 형성되며 족근 관절에서는 족저 굴곡이 증가되는 경우로, 침족 보행으로 인한 발의 정상적인 흔들의자(foot rocker) 작용이 소실되어 조기에 슬관절 신전 모멘트가 생성되는 경우였다. 또한 수술 전 비디오 분석과 횡단면에서 양측 골반 회전의 운동형상학적 지표를 관찰하여 마비측의 골반이 보행 주기 동안 외 회전되는 양상을 보인 환아는 8명이었고 “보행주기 동안 마비측의 골반이 외측 회전되는 양상을 보이는 환아”로 분류하였다.

3) 통계분석

통계 분석은 SPSS 11.0 for window version을 이용

Table 1. Changes in the degrees of ankle dorsiflexion according to the clinical examination

Parameters	Preoperative	Postoperative	p
Ankle dorsiflexion			
with knee flexion	0.71±13.14	16.79±6.39	<0.001
with knee extension	5.36±14.07	13.21±7.75	<0.001

Values are mean±standard deviation.

Table 2. Changes in the temporospatial parameters

Parameters	Preoperative	Postoperative	p
Cadence (steps/minute)	120.39±16.98	114.92±15.58	0.263
Velocity (meters/sec)	0.84±0.22	0.82±0.25	0.843
Step length (meters)	0.43±0.1	0.44±0.11	0.714
Single limb support (%)	13.20±2.78	13.92±3.06	0.570

Values are mean±standard deviation.

하였고 수술 전후 신체검사 소견, 시공간적 지표, 시상면에서의 운동형상학적 지표의 비교 및 진출기때 족근 관절에서의 힘 생성(power generation) 지표 등의 비교는 각각 paired t-test 방법을 이용하였다. 입각기때 슬관절의 과신전 보행패턴을 보였던 환아에서의 수술 전후 시상면 보행 분석 지표와 보행주기 동안 마비측의 골반이 외측 회전되는 양상을 보였던 환아에서의 수술 전후 횡단면에서의 운동형상학적 지표의 비교에는 Wilcoxon signed rank test방법을 각각 이용하였고 p value가 0.05 미만일 경우 통계학적으로 의미있는 것으로 정의하였다.

결 과

1. 수술 전후 신체검사 및 시공간적지표의 비교

족근 관절의 수동적 배측 굴곡은 슬관절 굴곡 및 완전 신전 상태 모두에서 의미있게 증가하였다(p<0.05, Table 1). 수술 전후의 시공간적 지표를 비교한 결과, 분속수(cadence), 보행속도(velocity), 활보장(step length) 및 단 하지 지지기(single limb support)에서의 수술 전후 의미있는 차이는 없었다(Table 2).

Table 3. Changes in the kinematic parameters in sagittal plane

Parameters	Preoperative data	Postoperative data	p
Ankle angle (degrees)			
angle at initial contact	-7.22±12.37	1.96±4.84	0.005
mean dorsiflexion during stance phase	0.05±13.75	9.30±3.07	0.015
angle at onset of push-off	7.09±14.00	19.71±4.26	0.004
angle at onset of toe-off	-15.46±15.04	-2.84±11.21	0.002
mean dorsiflexion during swing phase	-9.47±11.78	2.52±6.52	0.001
Knee angle (degrees)			
angle at initial contact	23.16±12.77	24.92±11.38	0.251
angle at onset of push-off	11.25±7.70	15.49±7.94	0.166
maximal extension in swing phase	24.23±12.70	25.09±10.51	0.604
Hip angle (degrees)			
angle at initial contact	43.60±12.13	42.19±9.36	0.365
maximal extension in stance phase	1.01±5.36	2.00±8.38	0.506
Anterior pelvic tilt (degrees)			
angle at initial contact	16.03±8.32	12.80±6.84	0.032
mean tilt angle during gait cycle	17.60±8.31	14.56±6.57	0.025

Values are mean±standard deviation,

Ankle angle: positive, dorsiflexion; negative, plantar flexion.

2. 시상면에서 운동형상학적 지표의 비교

1) 족근 관절에서의 운동형상학적 지표

최초 접지시점 족근 관절의 배측 굴곡각도와 입각시점 배측 굴곡각도는 수술 후 각각 증가하였으며($p < 0.05$), 초기 진출기 및 발가락 떼기때에도 각각 증가하였다($p < 0.05$). 유각기의 평균 배측 굴곡각도도 의미있게 증가하였다($p < 0.05$, Table 3, Fig. 1).

2) 슬관절 및 고관절에서의 운동형상학적 지표

최초 접지시점 및 초기 진출기에서의 슬관절 굴곡 각도와 유각기 최대 슬관절 신전각도는 수술 전후 의미있는 변화가 없었으며(Table 3, Fig. 1), 고관절의 경우에도 최초 접지시점에서의 고관절 굴곡각도와 입각기에서의 고관절 최대 신전 각도 등 수술 전후 의미있게 변화한 지표

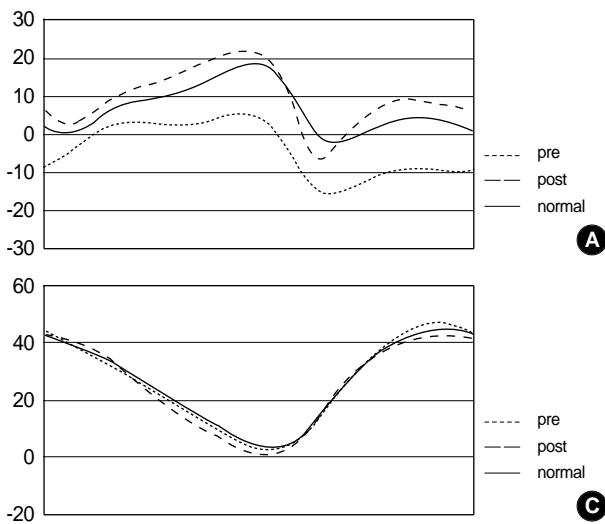


Fig. 1. Changes in the kinematic parameters in the sagittal plane (A) ankle flexion (degrees), (B) knee flexion (degrees), (C) hip flexion (degrees), (D) pelvis tilt (degrees).

는 없었다(Table 3, Fig. 1).

3) 골반의 운동형상학적 지표

골반의 전방경사 각도는 최초 접지시점과 보행주기 전반에서의 평균 전방경사 각도가 모두 의미있게 감소하였다($p < 0.05$, Table 3, Fig. 1).

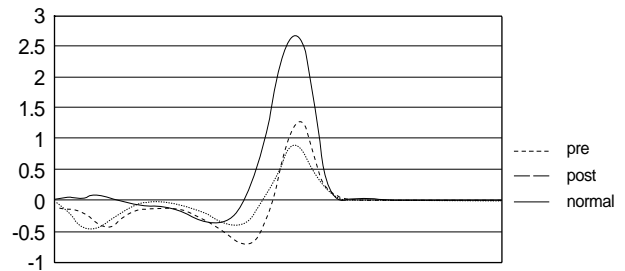


Fig. 2. Changes in the ankle power generation (Watts/kg).

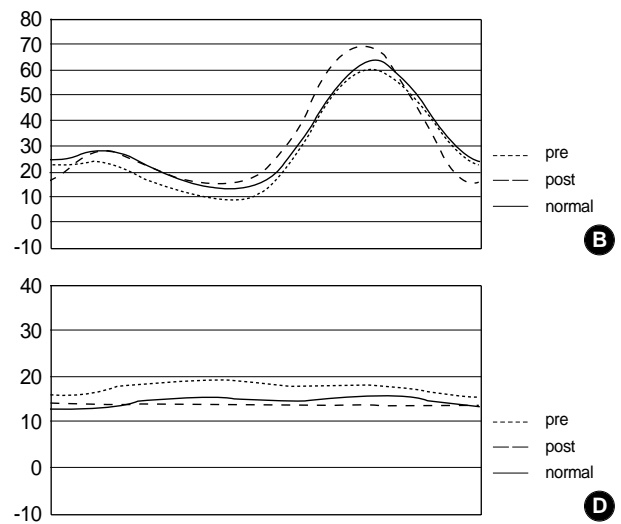


Fig. 3. Changes in the knee kinematic and kinetic parameters in patients with recurvatum knee gait pattern, (A) knee flexion (degrees), (B) knee moment (Nm/kg).

Table 4. Changes in the knee kinematic and kinetic parameters in patients with and without recurvatum knee gait patterns

Parameters	Preoperative data	Postoperative data	p
With recurvatum knee (n=8)			
angle at initial contact (degrees)	20.57 (-2.97~54.03)	26.44 (9.00~58.04)	0.012
maximal extension in stance phase (degrees)	5.71 (-7.98~13.14)	10.66 (7.45~25.56)	0.036
angle at onset of push-off (degrees)	6.54 (-0.79~18.96)	15.75 (5.23~28.08)	0.161
mean moment during stance phase (Nm/kg)	-0.10 (-0.37~0.05)	0.06 (-0.05~0.11)	0.018
peak flexion moment in stance phase (Nm/kg)	-0.36 (-0.72~-0.23)	-0.1 (-0.29~-0.03)	0.018
Without recurvatum knee (n=8)			
angle at initial contact (degrees)	32.10 (9.83~54.03)	26.39 (11.96~58.04)	1.000
maximal extension in stance phase (degrees)	16.07 (4.87~20.95)	12.02 (4.62~20.93)	0.779
angle at onset of push-off (degrees)	18.06 (5.76~22.47)	16.46 (5.23~27.27)	0.889
mean moment during stance phase (Nm/kg)	0.11 (-0.09~0.23)	0.08 (-0.02~0.37)	0.463
peak flexion moment in stance phase (Nm/kg)	0.28 (0.20~0.46)	0.34 (0.09~0.42)	0.893

Values are median (minimum~maximum),

Knee angle: positive=flexion, negative=hyperextension; Knee moment: positive=extension moment, negative=flexion moment.

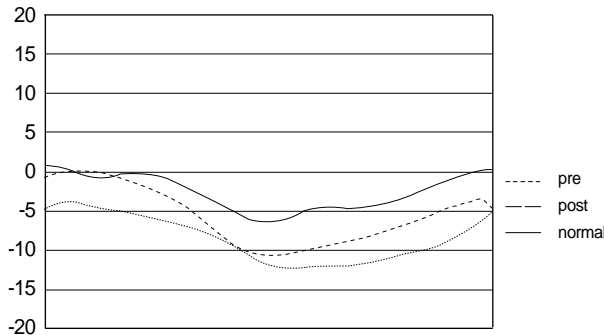


Fig. 4. Changes in the pelvic kinematic parameters on the transverse plane in patients with pelvic external rotation.

3. 수술 전후 진출기때 족근 관절에서의 힘 생성 (power generation) 지표의 비교

진출기때 하퇴 삼두근이 수축하면서 족근 관절이 족저 굴곡되는 시기에 나타나는 힘 생성은 수술 전 평균 0.62 ± 0.33 W/kg에서 수술 후 평균 0.75 ± 0.69 W/kg로, 최대값은 수술 전 평균 1.10 ± 0.59 W/kg에서 수술 후 평균 1.38 ± 1.25 W/kg로 증가하는 양상을 보였으나 통계학적으로 의미있는 차이는 없었다(p>0.05, Fig. 2).

4. 수술 전 입각기때 슬관절 과신전 보행패턴을 보였던 환아와 그렇지 않았던 환아에서의 수술 전후 비교

1) 수술 전후 슬관절 시상면에서의 운동형상학적 지표 비교

슬관절 과신전 보행 패턴을 보였던 8명의 환아에서, 초기 입각기때의 슬관절 굴곡각도와 입각기 최대 신전시의 슬관절 굴곡각도는 의미있게 증가하였다(p<0.05). 한편 최초 진출기에서 슬관절의 굴곡 각도는 증가하는

Table 5. Changes in the pelvic kinematic parameters on the transverse plane in patients with and without pelvic external rotation

Parameters	Preoperative data	Postoperative data	p
With pelvic external rotation (n=8)			
Angle at initial contact (degrees)	-4.28 (-15.59~1.13)	1.43 (-6.31~3.80)	0.036
mean angle during gait cycle (degrees)	-7.07 (-20.23~-4.58)	-5.31 (-18.00~-0.73)	0.012
Without pelvic external rotation (n=8)			
angle at initial contact (degrees)	5.36 (1.43~18.20)	1.49 (-5.11~12.96)	0.161
mean angle during gait cycle (degrees)	-0.44 (-4.92~4.39)	-1.47 (-4.24~9.84)	0.779

Values are median (minimum~maximum).

경향을 보였으나 의미있는 차이는 없었으며(Table 4, Fig. 3), 슬관절 과신전 보행 패턴을 보이지 않았던 나머지 8명의 환아에서 수술 전후 의미있는 변화는 없었다(Table 4).

2) 수술 전후 슬관절 시상면에서의 운동학적 지표 비교

시상면의 신전 모멘트를 양의 수로, 굴곡 모멘트를 음의 수로 표현했을 때 슬관절 과신전 보행 패턴을 보였던 8명의 환아에서 입각기때 평균 모멘트는 수술 전 굴곡 모멘트에서 수술 후 신전 모멘트로 변화 됨을 관찰하였고(p<0.05), 최대 굴곡 모멘트도 수술 후 의미있게 감소하였다(p<0.05, Table 4, Fig. 3). 반면, 슬관절 과신전 보행 패턴을 보이지 않았던 환아에서는 수술 전후 의미있는 변화가 없었다(Table 4).

5. 수술 전 마비 측 골반의 외측 회전이 있었던 환아와 그렇지 않았던 환아에서의 수술 전후 비교

횡단면에서의 골반 외 회전을 음의 수로, 내 회전을 양의 수로 나타났을 때 보행 주기 동안 마비측의 골반이 외측 회전되었던 8명의 환아에서 최초 접지기때 골반의 외측 회전정도가 감소하였으며($p < 0.05$), 보행주기 동안의 평균 골반 외 회전도 감소하였다($p < 0.05$, Table 5, Fig. 4). 한편 보행주기 동안 마비측의 골반이 외측 회전되지 않았던 8명의 환아에서는 수술 전후 의미있는 변화가 관찰되지 않았다(Table 5).

고 찰

입각기때 족근 관절 및 족부에서는 소위 세가지 “흔들의자(rocker)작용”이 일어난다. 첫째, 최초 접지기 후 족저 굴곡이 일어나는 것으로 전 경골근의 편심성 수축에 의해 조절되고 둘째, 고정된 발 위로 경골과 몸이 전방으로 이동하면서 점진적으로 족관절이 배측 굴곡 되는 것으로 하퇴 삼두근의 편심성 수축에 의해 조절되며 셋째, 발이 중족 골두(metatarsal head)를 중심으로 회전하는 것으로 하퇴 삼두근과 제 1족지 굴곡근(flexor hallucis)이 동심성 수축을 하여 진출기를 이룬다¹¹⁾. 뇌성마비 환아에서의 침족 보행은 최초 접지가 발가락에 의해 일어나면서 첫 번째 흔들의자 작용이 소실되고, 두 번째 흔들의자 작용 시 하퇴 삼두근이 신전되면서 반사적인 수축이 일어나 그 작용이 갑자기 끝나버리는 현상이 일어난다. 이는 입각기때 족부의 안정성을 감소시키고 체간의 이동이 부드럽게 일어나지 못하게 하여 유각기로의 족부 전진을 어렵게 한다¹⁰⁾. 본 연구에서는 슬관절의 과신전 보행 양상을 보이는 8명의 환아들을 따로 분류하여 수술 전후 보행 양상의 변화를 살펴보았는데 이러한 보행은 하퇴 삼두근의 경직에 의한 침족 보행으로 발의 흔들의자 작용이 소실되어 슬관절에서 조기에 신전 모멘트가 생성되어 일어나는 현상으로 설명될 수 있다.

뇌성마비 환아에서 하퇴 삼두근의 경직 혹은 구축에 대한 근, 건 연장술이 보행에 미치는 영향에 대한 연구들에 의하면 신체검사와 운동형상학적 분석 상 입각기와 유각기때 족근 관절의 배측 굴곡이 증가하고, 운동학적 분석 상 중간 입각기에서는 족근 관절에서의 비 정상적인 에너지 생성이 감소하고 진출기에는 오히려 증가함이 관찰된 바 있다^{2,12,13)}. 그러나 Rose 등¹²⁾의 연구에서는 경직형 양

지마비 환아들이 연구대상이었고, Steinwender 등¹³⁾의 연구에서는 슬관절과 고관절의 굴곡근 연장술 및 대퇴골 염전 절골술 등 상위 관절에서의 수술이 함께 시행된 환아들을 대상으로 하였기 때문에 편측 마비 환아에서의 침족 변형에 대한 수술적 치료가 상위 관절에 미치는 영향을 확인하기에는 어려움이 있었다. Baddar 등²⁾은 족근 관절에 대한 수술만을 시행한 11명의 경직형 양지마비 환아를 대상으로 한 연구에서, 수술 전 침족 보행에 대한 보상 운동으로 초기 입각기때 슬관절 굴곡이 증가되었던 현상이 수술 후 호전되는 연관성(ankle and knee coupling)을 확인한 바 있다. 그러나 실제 편마비 환아에서는, 많은 경우 입각기때 슬관절 과신전이 관찰되며 이런 보행 양상을 가지는 환아에서 족근 관절에 대한 수술만을 시행하여 비 정상적인 슬관절 운동이 호전되는지 여부를 관찰한 연구는 없었다.

본 연구에서는 족근 관절 부위에 대한 수술만을 시행한 경직형 편측 뇌성마비 환아를 대상으로 하였으며 수술 후 최초 접지기, 최초 진출기, 발가락 떼기 시, 입각기 및 유각기때의 배측 굴곡이 증가함을 관찰하였을 뿐만 아니라 수술 전 침족 보행으로 인하여 관찰되지 않았던 첫 번째 흔들의자 작용에 의한 초기 족저 굴곡이 수술 후 관찰됨을 확인하였다. 이러한 결과는 상기 언급한 다른 연구 결과들과 전반적으로 일치하는 것으로 하퇴 삼두근 연장술이 침족 보행으로 인한 족근 관절에서의 이상 운동을 호전시킴을 확인시키는 소견이다. 한편, 하퇴 삼두근 연장술은 종족변형(calcanus deformity)의 발생 위험성과¹⁰⁾ 진출기때 근력약화의 유발 가능성이 있다고 알려져 있는데^{6,7)}, 이에 대한 설명으로 Rose 등은 두 가지 원인을 제시하였다. 첫째, 하퇴 삼두근의 신전반사 시기가 진출기가 일어나는 후기 입각기까지 연장된다는 것이고 둘째, 최초 진출기때 배측 굴곡이 증가되어 운동학적으로 힘을 유발하는데 유리한 위치가 되었다는 것이다. 본 연구에서도 수술 후 최초 진출기 시 배측 굴곡이 증가하였고 통계학적으로 의미있는 정도는 아니었지만 진출기 힘 생성의 증가 소견이 관찰되어 근력 약화로 인한 힘 생성 감소가 없음을 확인하였다. 반면에 중기 입각기때 하퇴 삼두근의 강직으로 인한 비 정상적인 힘 생성은 감소되었음을 확인하였다.

본 연구에서 전체 16명의 환아를 대상으로 한 경우 수술 전후 슬관절 보행 패턴의 변화를 관찰할 수 없었으나,

입각기때 슬관절 과신전을 보였던 8명의 환아에서는 수술 후 변화를 확인할 수 있었다. 즉, 운동형상학적 분석에서 최초 입각기 시 슬관절 굴곡이 증가하였고 입각기 시 최저 굴곡 역시 증가하였다. 또한 정상 보행에서 관찰되는 최초 접지 후 충격 흡수를 위한 초기 입각기의 슬관절 굴곡이 수술 전 관찰되지 않았으나 수술 후에는 발현되어 슬관절의 비정상적 움직임이 양적(관절 각도)으로 뿐만 아니라 질적으로도 호전되었음을 알 수 있었다. 또한, 운동학적 분석에서도 입각기시 슬관절의 모멘트가 굴곡 모멘트에서 신전 모멘트로 변화하고 최대 굴곡 모멘트가 감소함을 관찰하였다. 이러한 슬관절 과신전 보행 패턴은 최초 접지시 중력중심선(center of gravity)이 슬관절 앞쪽에 위치하여 무릎을 신전시키는 외부 모멘트(external moment)가 작용하게 되고 이에 따라 내부 모멘트는 증가되는 굴곡 모멘트로 나타나는 것이 특징적인데⁸⁾, 본 연구 결과 이러한 소견은 근, 건 연장술이 시행됨으로써 호전됨을 확인하였다.

한편, 경직형 편측 뇌성마비 환아에서는 보행 시 골반이 외 회전(pelvic retraction)되는 양상이 흔히 관찰되는데¹⁾, 이는 환측의 고관절 굴곡근 및 신전근의 약화로 인한 근력 약화나 하퇴 삼두근의 경직으로 인한 환측 족부의 진행(foot clearance)이 어려워 골반회전의 장애(pelvic lag)가 생기는 것으로 설명될 수 있다^{9,14)}. 본 연구에서는 16명의 대상 환아 중 환측 골반이 외측 회전되는 8명의 환아를 따로 분류하여 관찰하였는데, 최초 접지시 골반의 외 회전 각도와 보행주기 전체동안의 평균 골반 외 회전 각도가 수술 후 모두 의미있게 감소되었다. 이는 수술 후 입각기 동안 족근 관절의 배측 굴곡이 증가되어 경골의 진행(tibial progression)이 용이해지고, 유각기 동안 배측 굴곡의 증가로 인해 족부 진행이 용이해져 골반 회전의 장애(pelvic lag)가 호전되었던 것으로 사료된다.

결 론

본 연구 결과, 경직형 편측 뇌성마비 환아에서는 족근 관절의 경직으로 인한 침착 변형이 보행 시 슬관절과 골반 등 상위 관절에서의 이상 움직임을 유발한다는 것을 알 수 있었으며 원인이 되는 족근 관절에 대한 수술적 치료만으로 상위 관절의 이상 보행 패턴도 호전됨을 확인할 수 있었다. 이는 뇌성마비 환아의 수술 전 평가 시, 각

관절 간의 상호 연관성에 대한 정확한 이해를 바탕으로 비 정상 보행 패턴을 정확히 분류하는 것이 적절한 수술 범위를 정하는 데에 중요함을 시사하며, 이를 통해 불필요한 수술로 인한 의인성(iatrogenic) 합병증을 예방하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Aminian A, Vankoski SJ, Dias L and Novak RA: *Spastic hemiplegic cerebral palsy and the femoral derotation osteotomy: effect at the pelvis and hip in the transverse plane during gait. J Pediatr Orthop*, 23: 314-320, 2003.
2. Baddar A, Granata K, Damiano DL, Carmines DV, Branco JS and Abel MF: *Ankle and knee coupling in patients with spastic diplegia: effects of gastrocnemius-soleus lengthening. J Bone Joint Surg*, 84-A: 736-744, 2002.
3. Borton DC, Walker K, Pirpiris M, Nattrass GR and Graham HK: *Isolated calf lengthening in cerebral palsy: outcome analysis of risk factors. J Bone Joint Surg*, 83-B: 364-370, 2001.
4. Gage JR: *Gait analysis in cerebral palsy, 1st ed, London, Mackeith Press, 61-100, 1991.*
5. Gage JR and Ounpuu S: *Surgical intervention in the correction of primary and secondary gait abnormalities. In: Patla AE, ed. Adaptability of human gait: implications for the control of locomotion. Amsterdam, Elsevier Science Publishers BV, 359-385, 1991.*
6. Gaines RW and Ford TB: *A systematic approach to the amount of Achilles tendon lengthening in cerebral palsy. J Pediatr Orthop*, 4: 448-451, 1989.
7. Grabe RP and Thompson P: *Lengthening of the Achilles tendon in cerebral palsies. South Afr Med J*, 56: 993-996, 1979.
8. Lin CJ, Guo LY, Su FC, Chou YL and Cherng RJ: *Common abnormal kinetic patterns of the knee in gait in spastic diplegia of cerebral palsy. Gait Posture*, 11: 224-232, 2000.
9. Noritake K, Stout JL and Gage JR: *Pelvic rotation during walking in children with spastic hemiplegic cerebral palsy. Gait Posture*, 7: 164, 1998.
10. Perry J, Hoffer MM, Giovani P, Antonelli D and Greenberg R: *Gait analysis of the triceps surae in cerebral palsy: a preoperative and postoperative clinical and electromyographic study. J Bone Joint Surg*, 56-A: 511-520, 1974.
11. Preiss RA, Condie DN, Rowley DI and Graham HK: *The*

- effects of botulinum toxin (BTX-A) on spasticity of the lower limb and on gait in cerebral palsy. J Bone Joint Surg, 85-B: 943-948, 2003.*
12. **Rose SA, DeLuca PA, Davis RB 3rd, Ounpuu S and Gage JR:** *Kinematic and kinetic evaluation of the ankle after lengthening of the gastrocnemius fascia in children with cerebral palsy. J Pediatr Orthop, 13: 727-732, 1993.*
13. **Steinwender G, Saraph V, Zwick EB, Uitz C and Linhart W:** *Fixed and dynamic equinus in cerebral palsy: evaluation of ankle function after multilevel surgery. J Pediatr Orthop, 21: 102-107, 2001.*
14. **Sutherland DH and Davids JR:** *Common gait abnormalities of the knee in cerebral palsy. Clin Orthop, 288: 139-147, 1993.*
15. **Winters TF Jr, Gage JR and Hicks R:** *Gait patterns in spastic hemiplegia in children and young adults. J Bone Joint Surg, 69-A: 437-441, 1987.*